

目 录

前言

上篇 供电技术基础知识(JC)

一、数学基础(JC1).....	3
(一) 常用的数学名词术语.....	3
表 JC1-1 常用的数学名词术语.....	3
(二) 常用的数学符号.....	12
表 JC1-2 常用的数学符号(据 GB3102.11—93).....	13
(三) 代数知识.....	20
表 JC1-3 常用的代数公式.....	20
表 JC1-4 行列式的概念、性质和运算法则.....	22
表 JC1-5 矩阵的概念、性质和运算法则.....	25
(四) 几何知识.....	28
表 JC1-6 平面几何的基本定理和公式.....	28
表 JC1-7 立体几何的基本定理和公式.....	31
(五) 初等函数知识.....	33
表 JC1-8 指数函数的基本性质和运算法则.....	33
表 JC1-9 对数函数的基本性质和运算法则.....	33
表 JC1-10 三角函数的定义、图像和基本公式.....	34
表 JC1-11 反三角函数的定义、图像和基本公式.....	38
(六) 解析几何知识.....	40
表 JC1-12 直线的概念和方程.....	41
表 JC1-13 抛物线的概念和方程.....	42
表 JC1-14 双曲线的概念和方程.....	44
表 JC1-15 圆的概念和方程.....	45
表 JC1-16 椭圆的概念和方程.....	46
表 JC1-17 直角坐标与极坐标的互换.....	47
(七) 复数知识.....	47
表 JC1-18 复数的形式和运算法则.....	47
表 JC1-19 共轭复数的性质.....	48
(八) 微积分知识.....	48
表 JC1-20 导数和微分的几何意义及应用示例.....	48
表 JC1-21 导数的基本公式和运算法则.....	49
表 JC1-22 微分的基本公式和运算法则.....	49
表 JC1-23 不定积分的基本性质.....	50
表 JC1-24 不定积分的基本公式和运算法则.....	50
表 JC1-25 定积分的基本性质.....	52

表 JC1-26 定积分的基本公式和运算法则	52
表 JC1-27 重积分的基本性质和运算法则	53
表 JC1-28 曲线积分的基本性质和运算法则	54
表 JC1-29 微分方程的基本概念及其求解方法	55
(九) 傅里叶级数和拉普拉斯变换知识	58
表 JC1-30 傅里叶级数的基本概念	59
表 JC1-31 部分典型周期函数的傅里叶级数展开式	60
表 JC1-32 拉普拉斯变换的基本概念	62
表 JC1-33 拉普拉斯变换简表	64
(十) 矢量运算的初步知识	66
表 JC1-34 矢量代数运算的基本公式	66
表 JC1-35 矢量微分算子及梯度、散度、旋度	66
主要参考文献	67
二、物理基础(JC2)	68
(一) 常用的物理名词术语	68
表 JC2-1 常用的物理名词术语	68
(二) 常用的物理量及物理量单位	76
表 JC2-2 国际单位制(SI)的基本单位(据 GB3100—93 和 GB3102—93)	76
表 JC2-3 国际单位制的辅助单位(据 GB3100—93 和 GB3102.1—93)	77
表 JC2-4 国际单位制中部分具有专门名称的导出单位(据 GB3100—93)	77
表 JC2-5 可与国际单位制单位并用的部分我国法定计量单位(据 GB3100—93)	78
表 JC2-6 国际单位制的词头(据 GB3100—93)	78
表 JC2-7 常用的空间、时间、周期及有关现象的量和单位(据 GB3102.1~2—93)	79
表 JC2-8 常用的力学和热力学的量和单位(据 GB3102.3~4—93)	80
表 JC2-9 常用的电学和磁学的量和单位(据 GB3102.5—93)	80
表 JC2-10 常用的光及有关电磁辐射的量和单位(据 GB3102.6—93)	82
(三) 力学的基本定律和公式	83
表 JC2-11 力学的基本定律	83
表 JC2-12 力学的基本公式	84
(四) 分子物理学和热力学的基本定律和公式	85
表 JC2-13 分子物理学的基本定律和公式	85
表 JC2-14 热力学的基本定律和公式	86
(五) 电磁学的基本定律、定则和公式	87
表 JC2-15 电磁学的基本定律、定则和公式	87
(六) 光学的基本定律和公式	88
表 JC2-16 光学的基本定律和公式	88
(七) 原子物理学的基本理论和方程	88
表 JC2-17 原子物理学的基本理论和方程	88
(八) 常用的物理常数	89
表 JC2-18 常用的物理常数	89
主要参考文献	89
三、化学基础(JC3)	90
(一) 常用的化学名词术语	90

表 JC3-1 常用的化学名词术语	90
(二) 化学元素周期表与元素性质	96
表 JC3-2 化学元素周期表	插页
表 JC3-3 元素周期表反映的元素性质	97
(三) 化学的基本定律、法则	97
表 JC3-4 化学的基本定律、法则	97
(四) 部分常见的单质和化合物	98
表 JC3-5 部分常见的单质	98
表 JC3-6 部分常见的化合物	101
(五) 化学反应的基本知识	106
表 JC3-7 无机化学反应的主要类型及示例	106
表 JC3-8 有机化学反应的主要类型及示例	107
表 JC3-9 常见的原电池和蓄电池的化学反应	109
主要参考文献	109
四、工程制图基础(JC4)	110
(一) 常用的工程制图名词术语	110
表 JC4-1 常用的工程制图名词术语	110
(二) 工程制图的国家标准及有关基本规定	115
表 JC4-2 工程制图的现行国家标准	115
表 JC4-3 工程图纸的幅面及图框尺寸要求(据 GB/T14689—93)	116
表 JC4-4 工程图样中的标题栏要求(据 GB10609.1—89)	118
表 JC4-5 工程图样中的明细栏要求(据 GB10609.2—89)	120
表 JC4-6 工程图样中的字体要求(据 GB/T14691—93)	121
表 JC4-7 图线的型式及其应用	122
表 JC4-8 工程图样中的比例(据 GB/T14690—93)	124
表 JC4-9 供电工程制图中常用的比例	124
(三) 机械制图的剖面符号及图样画法	124
表 JC4-10 机械制图的剖面符号(据 GB4457.5—84)	124
表 JC4-11 机械制图的视图和剖视图画法(据 GB4458.1—84)	125
表 JC4-12 机械制图各种表达方法的适用范围	129
表 JC4-13 装配图中零、部件序号的编排(据 GB4458.2—84)	130
表 JC4-14 机械图样中尺寸的标注(据 GB4458.4—84)	131
表 JC4-15 机械图样中尺寸公差的标注(据 GB4458.5—84)	133
(四) 建筑制图的图例符号及图样画法	133
表 JC4-16 常用建筑材料图例(据 GBJ1—86)	133
表 JC4-17 建筑制图的常用符号(据 GBJ1—86)	135
表 JC4-18 建筑制图的图样画法(据 GBJ1—86)	137
表 JC4-19 建筑制图的尺寸标注(据 GBJ1—86)	140
(五) 电气制图的图例符号、文字符号及图样画法	144
表 JC4-20 常用的电气图用图形符号(据 GB4728—84、85)	144
表 JC4-21 电气图用图形符号的使用和派生	201
表 JC4-22 电气技术中的项目代号(据 GB5094—85)	202
表 JC4-23 电气设备常用的基本文字符号(据 GB7159—87)	203

表 JC4-24 电气技术常用的辅助文字符号(据 GB 7159—87)	209
表 JC4-25 电气制图的连接线画法(据 GB6988.2—86)	211
表 JC4-26 电气制图的系统图和框图画法(据 GB6988.3—86)	214
表 JC4-27 电气制图的电路图画法(据 GB6988.4—86)	215
表 JC4-28 电气制图的接线图画法(据 GB6988.5—86)	218
主要参考文献	220
五、机械工程基础(JC5)	221
(一) 常用的机械工程名词术语	221
表 JC5-1 常用的机械工程名词术语	221
(二) 机械工程常用材料	229
表 JC5-2 金属材料的力学性能和工艺性能	229
表 JC5-3 常用的金属材料	230
表 JC5-4 常用的非金属材料	240
(三) 金属切削机床	243
表 JC5-5 金属切削机床的型号编制(据 JB1838—85)	243
表 JC5-6 常用金属切削机床的加工特点和基本结构	245
(四) 公差与配合	250
表 JC5-7 公差与配合的有关概念	250
表 JC5-8 公差等级及其应用条件(据 GB1800—79)	251
表 JC5-9 公差等级与加工方法的关系	252
主要参考文献	253
六、电路和磁路基础(JC6)	254
(一) 常用的电路和磁路名词术语	254
表 JC6-1 常用的电路和磁路名词术语	254
(二) 电路的基本定律	263
表 JC6-2 电路的基本定律	263
(三) 电路参数的计算	264
表 JC6-3 电阻的计算	264
表 JC6-4 电感和感抗的计算	265
表 JC6-5 电容和容抗的计算	267
表 JC6-6 阻抗的计算	268
(四) 直流电路的分析计算	269
表 JC6-7 简单直流电路的分析计算	270
表 JC6-8 复杂直流电路的分析计算	271
(五) 正弦交流电路的分析计算	272
表 JC6-9 单相正弦交流电路的分析计算	272
表 JC6-10 三相正弦交流电路的分析计算	277
表 JC6-11 正弦交流电路的谐振	282
(六) 非正弦交流电路的分析计算	283
表 JC6-12 非正弦交流电压、电流产生的原因	283
表 JC6-13 非正弦周期量的分解和计算	283
表 JC6-14 非正弦交流电路的计算	284
表 JC6-15 几种特定非正弦波形的谐波特点	285

(七) 线性电路过渡过程的分析计算	286
表 JC6-16 电路产生过渡过程的原因及换路定律	286
表 JC6-17 一阶线性电路的过渡过程分析计算	286
表 JC6-18 二阶线性电路的过渡过程分析计算	289
(八) 磁路的基本定律	290
表 JC6-19 磁路的基本定律	290
(九) 磁路的计算	291
表 JC6-20 磁路的计算	291
(十) 铁心损耗和电磁力的计算	292
表 JC6-21 铁心线圈的功率损耗计算	292
表 JC6-22 电磁铁的吸力计算	293
表 JC6-23 两平行载流导体的相互作用力计算	293
主要参考文献	295
七、电工测量基础(JC7)	296
(一) 常用的电工测量名词术语	296
表 JC7-1 常用的电工测量名词术语	296
(二) 测量技术基础知识	299
表 JC7-2 测量方式和方法的选择	299
表 JC7-3 测量误差及仪表准确度	300
表 JC7-4 测量数值的修约规则(据 GB8170—87)	301
(三) 常用的电工测量仪表	302
表 JC7-5 电工指示仪表的标志符号	302
表 JC7-6 常用电工仪表的型号编制	303
表 JC7-7 常用电工仪表的测量机构	304
表 JC7-8 常用的电工指示仪表	307
(四) 常用的电工测量方法	312
表 JC7-9 电流和电压的测量	312
表 JC7-10 电功率的测量	313
表 JC7-11 电能的测量	315
表 JC7-12 电阻的测量	317
表 JC7-13 电感和电容的测量	319
主要参考文献	321
八、电子技术基础(JC8)	322
(一) 常用的电子技术名词术语	322
表 JC8-1 常用的电子技术名词术语	322
(二) 电子元、器件	329
表 JC8-2 常用电子元器件的型号编制(据 GB249—89 等)	329
表 JC8-3 阻容元件型号规格的标注	333
表 JC8-4 晶体三极管主要参数的符号及其含义	335
表 JC8-5 晶体管的简易测试方法	336
表 JC8-6 晶体三极管的三种基本工作状态	336
(三) 晶体管放大电路	337
表 JC8-7 晶体管放大电路的三种偏置方式	337

表 JC8-8 常用晶体管放大电路的计算公式	338
表 JC8-9 三种基本放大电路的性能比较	340
表 JC8-10 晶体管放大电路的基本分析方法	340
表 JC8-11 晶体管放大电路的耦合方式	341
表 JC8-12 工业自动控制系统中常用的多级放大电路	341
表 JC8-13 四种差动放大电路的比较	343
表 JC8-14 几种常用功率放大电路的分析	344
表 JC8-15 放大器中反馈类型的判别方法	345
表 JC8-16 放大器中负反馈的类型及其作用	346
(四) 集成运算放大器	346
表 JC8-17 几种基本集成运算放大器的性能	346
表 JC8-18 同相输入和反相输入运算放大器的比较	347
表 JC8-19 微分、积分、对数和反对数运算的比较	347
表 JC8-20 集成运放在信号处理方面的应用	348
表 JC8-21 集成运放在波形产生方面的应用	348
(五) 振荡电路和直流电源	349
表 JC8-22 几种常用振荡电路的性能	349
表 JC8-23 几种常用滤波电路的性能	351
表 JC8-24 几种常用整流电路的性能	352
表 JC8-25 几种单相整流电路带纯电阻负载时的性能比较	354
表 JC8-26 几种常用稳压电路的原理和性能	354
(六) 数字电路	355
表 JC8-27 几种数制的对照	355
表 JC8-28 三种基本逻辑门电路	356
表 JC8-29 几种常见分立元件门电路与集成单元门电路性能比较	357
表 JC8-30 逻辑代数(布尔代数)的基本定律和公式	359
表 JC8-31 几种常见触发器的性能	359
表 JC8-32 脉冲的产生与整形电路	360
主要参考文献	361
九、计算机基础(JC9)	362
(一) 常用的计算机名词术语	362
表 JC9-1 常用的计算机名词术语	362
(二) 计算机的分类、发展及组成	369
表 JC9-2 计算机的分类	369
表 JC9-3 计算机的发展演变	370
表 JC9-4 计算机系统的组成	371
表 JC9-5 计算机系统的主要技术指标	371
(三) 计算机硬件	371
表 JC9-6 计算机的基本结构和工作原理	372
表 JC9-7 存储器的分类	372
表 JC9-8 存储器的主要性能指标	372
表 JC9-9 常用半导体存储器	373
表 JC9-10 主存储器、辅助存储器、高速缓存的比较	374

表 JC9-11	软盘的主要格式参数	374
表 JC9-12	中央处理器的主要功能	374
表 JC9-13	中央处理器的组成	375
表 JC9-14	指令寻址方式	376
表 JC9-15	外设地址编址方法	376
表 JC9-16	CPU 与外设间的数据传送方式	377
表 JC9-17	常见总线接口标准	377
表 JC9-18	主要中断源类别	378
表 JC9-19	中断的过程	378
(四)	计算机软件	378
表 JC9-20a	十、二、八、十六进制比较	378
表 JC9-20b	进制之间的换算关系	379
表 JC9-21	原码、反码和补码的比较	379
表 JC9-22	各种二十进制编码中数的表示	380
表 JC9-23	ASCII 码表	380
表 JC9-24	程序设计语言分类	380
表 JC9-25	解释方式与编译方式的比较	381
表 JC9-26	几种常见高级语言功能比较	381
表 JC9-27	操作系统的功能、分类及示例	381
表 JC9-28	流程图的主要符号	382
表 JC9-29	结构化程序设计的三种基本结构、特点及示例	382
(五)	计算机系统设计基本步骤及应用资料	383
表 JC9-30	计算机系统设计基本步骤	383
表 JC9-31	常见微机 CPU 芯片一览表	385
表 JC9-32	美国 Intel 公司单片机系列一览表	386
	主要参考文献	387
十、	电工材料基础(JC10)	388
(一)	常用的电工材料名词术语	388
表 JC10-1	常用的电工材料名词术语	388
(二)	导电材料	391
表 JC10-2	部分导电纯金属的物理性能	392
表 JC10-3	部分导电铜合金和铝合金的物理性能及应用范围	391
表 JC10-4	部分电磁线的型号、特点及应用范围	392
表 JC10-5	部分触头材料的物理性能及应用范围	395
表 JC10-6	部分低熔点合金熔体的成分(质量分数)和熔点	397
(三)	磁性材料	397
表 JC10-7	电磁纯铁的牌号、成分及应用范围	397
表 JC10-8	冷轧硅钢片的牌号、性能及应用范围	397
表 JC10-9	永磁材料的主要用途	398
(四)	绝缘材料(电介质)	399
表 JC10-10	电工绝缘材料的型号编制	399
表 JC10-11	电机和电器用绝缘材料的耐热等级	400
表 JC10-12	气体电介质的类型、性能及应用范围	400

表 JC10-13	液体电介质的类型、性能及应用范围	401
表 JC10-14	固体电介质的类型及性能特点	402
表 JC10-15	部分云母及其制品的主要性能及应用范围	403
表 JC10-16	部分电工陶瓷的主要性能及应用范围	405
表 JC10-17	部分电工玻璃的主要性能及应用范围	406
表 JC10-18	部分绝缘纸的主要性能及应用范围	406
表 JC10-19	部分绝缘漆的主要性能及应用范围	408
表 JC10-20	部分绝缘胶的主要性能及应用范围	410
表 JC10-21	部分层压板的主要性能及应用范围	410
表 JC10-22	部分层压管的主要性能及应用范围	411
表 JC10-23	部分热固性塑料的主要性能及应用范围	411
表 JC10-24	部分热塑性塑料的主要性能及应用范围	412
表 JC10-25	部分橡胶的主要性能及应用范围	413
	主要参考文献	414
十一、电机和电器基础(JC11)		415
(一) 常用的电机和电器名词术语		415
表 JC11-1	常用的电机和电器名词术语	415
(二) 旋转电机概述		423
表 JC11-2	旋转电机的结构特点及应用范围	423
表 JC11-3	旋转电机的工作制及其负载特性	424
表 JC11-4	旋转电机的型号编制	425
(三) 直流电机		427
表 JC11-5	直流电动机的类型、特点及应用范围	427
表 JC11-6	直流发电机的类型、特点及应用范围	428
表 JC11-7	直流电机的基本结构、原理及有关概念	429
(四) 同步电机		431
表 JC11-8	同步电机的类型、特点及应用范围	431
表 JC11-9	同步电机的基本结构、原理及有关概念	432
(五) 异步电动机		435
表 JC11-10	异步电动机的类型、特点及应用范围	435
表 JC11-11	异步电动机的基本结构、原理及有关概念	438
(六) 变压器和互感器		439
表 JC11-12	电力变压器的类型、特点及应用范围	440
表 JC11-13	电力变压器的基本结构、原理及有关概念	442
表 JC11-14	三相电力变压器的联结组	446
表 JC11-15	电力变压器的型号编制(据 JB/T3837—92)	452
表 JC11-16	仪用互感器的类型、特点及应用范围	453
表 JC11-17	仪用互感器的基本结构、原理及有关概念	454
表 JC11-18	仪用互感器常用的联结方案	455
表 JC11-19	仪用互感器的型号编制(据 JB/T3837—92)	457
(七) 高压电器和低压电器		459
表 JC11-20	电器的类型、特点及应用范围	459
表 JC11-21	高压电器的要求及其型号编制	460

表 JC11-22 低压电器的要求及其型号编制	462
表 JC11-23 电弧原理及开关电器的灭弧方法	465
(八) 电气设备的额定值及外壳防护等级	467
表 JC11-24 220V 至 1000V(1140V)的交流电力系统及电气设备的标称电压值或额定 电压值(据 GB156—93)	467
表 JC11-25 3kV 及以上的交流三相系统的标称电压值及电气设备的最高电压值 (据 GB156—93)	467
表 JC11-26 交流 380V 及以下和直流 2000V 及以下的电气设备的额定电压值(据 GB156—93) ...	467
表 JC11-27 发电机的额定电压值(据 GB156—93)	468
表 JC11-28 电气设备的额定电流(据 GB762—80)	468
表 JC11-29 电气设备的额定频率(据 GB1980—80)	469
表 JC11-30 电气设备外壳防护等级的分类(据 GB4208—84)	470
主要参考文献	470
十二、发电厂和电力系统基础(JC12)	471
(一) 常用的发电厂和电力系统名词术语	471
表 JC12-1 常用的发电厂和电力系统名词术语	471
(二) 水电站	475
表 JC12-2 水电站的类型	475
表 JC12-3 水电站的组成、设备及能量转换关系	476
(三) 火电厂	477
表 JC12-4 火电厂的类型	477
表 JC12-5 火电厂的组成、设备及能量转换关系	478
(四) 核电站	479
表 JC12-6 核电站的类型	479
表 JC12-7 压水堆型核电站的组成、设备及核电站能量转换关系	481
(五) 其它发电方式	481
表 JC12-8 风力发电、地热发电及太阳能发电简介	482
(六) 电力系统	483
表 JC12-9 电力系统的组成、结构及其功用	483
表 JC12-10 电力系统中性点运行方式	484
表 JC12-11 低压配电系统的接地型式	486
主要参考文献	488
十三、现代企业管理基础(JC13)	489
(一) 现代企业管理常用的名词术语	489
表 JC13-1 现代企业管理常用的名词术语	489
(二) 现代企业制度	494
表 JC13-2 现代企业制度	495
(三) 现代企业的营销管理	496
表 JC13-3 现代企业的营销管理知识	496
(四) 现代企业的生产、技术和质量管理	501
表 JC13-4 现代企业的生产、技术和质量管理知识	501
(五) 现代企业的设备管理	504
表 JC13-5 现代企业的设备管理知识	504

(六) 现代企业的物资管理	509
表 JC13-6 现代企业的物资管理知识	509
(七) 现代企业的劳动人事管理	511
表 JC13-7 现代企业的劳动人事管理知识	511
(八) 现代企业的财务管理	513
表 JC13-8 现代企业的财务管理知识	513
主要参考文献	516
下篇 供电技术专业知识(ZY)	
一、供电概论(ZY1)	519
(一) 常用的供电技术基本名词术语	519
表 ZY1-1 常用的供电技术基本名词术语	519
(二) 企业供电系统的组成及其运行要求	521
表 ZY1-2 企业供电系统的组成及其运行要求	521
(三) 企业供电系统示例	523
表 ZY1-3 企业供电系统示例	523
(四) 企业供电系统的电压和电压质量	524
表 ZY1-4 我国三相交流电网和电力设备的额定电压(据 GB156—93)	524
表 ZY1-5 企业供电系统的电压选择	525
表 ZY1-6 供电系统的电压偏差允许值及其减小措施(据 GB50052—95 和 GB12325—90)	526
表 ZY1-7 供电系统的电压波动和闪变及其抑制和允许值(据 GB50052—95 和 GB12326—90)	527
表 ZY1-8 供电系统的谐波及其抑制和允许值(据 GB50052—95 和 GB/T14549—93)	528
主要参考文献	529
二、电力负荷及其计算(ZY2)	530
(一) 有关电力负荷及其计算的名词术语	530
表 ZY2-1 有关电力负荷及其计算的名词术语	530
(二) 电力负荷的分级及其对供电电源的要求	532
表 ZY2-2 电力负荷的分级及有关说明(据 GB50052—95)	532
表 ZY2-3 机械工厂常用重要电力负荷的级别(据 JBJ6—96)	533
表 ZY2-4 民用建筑常用重要电力负荷的级别(据 JGJ/T16—92)	534
表 ZY2-5 电力负荷对供电电源的要求(据 GB50052—95)	536
(三) 计算负荷的计算	537
表 ZY2-6 确定计算负荷的方法及有关说明	537
表 ZY2-7 按需要系数法确定计算负荷	538
表 ZY2-8 用电设备组的需要系数和功率因数数值	538
表 ZY2-9 按二项式法确定计算负荷	540
表 ZY2-10 用电设备组的二项式系数和功率因数数值	541
表 ZY2-11 按利用系数法确定计算负荷	541
表 ZY2-12 用电设备组的利用系数和功率因数数值	542
表 ZY2-13 最大系数 K_m 值	543
表 ZY2-14 按负荷密度法和单位指标法确定计算负荷	544
表 ZY2-15 部分用电单位负荷密度参考值	544
表 ZY2-16 部分用户单位指标参考值	545

表 ZY2-17 单相负荷的计算	545
表 ZY2-18 线路和变压器功率损耗的计算	546
表 ZY2-19 SL7 系列低损耗配电变压器的有功和无功损耗	548
表 ZY2-20 工厂计算负荷的计算	549
(四) 尖峰电流的计算	551
表 ZY2-21 尖峰电流的计算公式	551
表 ZY2-22 Y 系列 380V 异步电动机的技术数据	552
主要参考文献	553
三、短路电流及其计算(ZY3)	554
(一) 有关短路电流及其计算的名词术语	554
表 ZY3-1 有关短路电流及其计算的名词术语	554
(二) 短路的原因、后果及其类型	556
表 ZY3-2 短路的原因、后果及其类型	556
(三) 电力系统对称短路的分析计算	557
表 ZY3-3 无限大容量电力系统的三相短路及短路电流	557
表 ZY3-4 有限容量电力系统的三相短路及短路电流	560
表 ZY3-5 利用标么值法进行三相短路计算	563
表 ZY3-6 利用欧姆法进行三相短路计算	567
(四) 电力系统不对称短路的分析计算	569
表 ZY3-7 电力系统中主要元件的正序、负序和零序电抗	569
表 ZY3-8 两相短路的分析计算	570
表 ZY3-9 单相短路的分析计算	572
(五) 短路电流的电动效应和热效应	573
表 ZY3-10 短路电流的电动效应	573
表 ZY3-11 短路电流的热效应	574
主要参考文献	576
四、供电系统的主要设备及其选择(ZY4)	577
(一) 有关设备及其选择的名词术语	577
表 ZY4-1 有关设备及其选择的名词术语	577
(二) 主变压器及其选择	578
表 ZY4-2 变压器的实际容量和过负荷能力	578
表 ZY4-3 变电所主变压器的选择	579
表 ZY4-4 S7 系列 6~35kV 铜线双绕组无励磁调压电力变压器的技术数据	581
表 ZY4-5 SL7 系列 6~35kV 铝线双绕组无励磁调压电力变压器的技术数据	582
表 ZY4-6 SC 系列 6~35kV 树脂绝缘干式变压器的技术数据	584
(三) 高压电器及其选择	585
表 ZY4-7 高压电器的类型、结构特点及其应用范围	585
表 ZY4-8 高压电器选择校验的项目	590
表 ZY4-9 高压电器选择校验的条件	590
表 ZY4-10 母线、电缆和绝缘导线正常和短路时最高允许温度及短路热稳定系数值	592
表 ZY4-11 部分常用高压断路器的技术数据	593
表 ZY4-12 35kV 隔离开关和隔离手车的技术数据	594
表 ZY4-13 RN2-35 型和 RW10-35 型熔断器的技术数据	594

表 ZY4-14	LCZ-35 型电流互感器的技术数据(一)	594
表 ZY4-15	LCZ-35 型电流互感器的技术数据(二)	595
表 ZY4-16	LB6-35 型电流互感器的技术数据(一)	595
表 ZY4-17	LB6-35 型电流互感器的技术数据(二)	596
表 ZY4-18	JD6-35 型电压互感器的技术数据	596
表 ZY4-19	JDX6-35 型电压互感器的技术数据	596
表 ZY4-20	JDJ-35、JDJ2-35、JDJJ2-35 及 JDX-35 等型电压互感器的技术数据	597
表 ZY4-21	JLS4-35 型组合互感器的技术数据	597
表 ZY4-22	部分高压开关柜的型号和技术数据	597
表 ZY4-23	JYN1-35 型移开式开关柜的主接线方案及其主要设备	599
(四) 低压电器及其选择		612
表 ZY4-24	低压电器的类型、结构特点及其应用范围	612
表 ZY4-25	低压电器选择校验的项目	613
表 ZY4-26	低压电器选择校验的条件	614
(五) 电器使用环境条件及其分类		618
表 ZY4-27	选择电器和导体的环境温度	618
表 ZY4-28	化学腐蚀环境分类	618
表 ZY4-29	化学腐蚀性物质释放严重度分级	619
表 ZY4-30	五类防腐电工产品的使用环境条件	619
表 ZY4-31	热带型电工产品的使用环境条件	620
表 ZY4-32	爆炸和火灾危险环境的分区(据 GB50058—92)	620
主要参考文献		621
五、供电系统的结线和结构(ZY5)		622
(一) 有关供电系统结线和结构的名词术语		622
表 ZY5-1	有关供电系统结线和结构的名词术语	622
(二) 供电系统主结线的要求及常见方案		625
表 ZY5-2	供电系统主结线的基本要求	625
表 ZY5-3	35kV 变电所常见的主接线方案	626
表 ZY5-4	6~10kV 变电所常见的主接线方案	629
表 ZY5-5	6~10kV 配电所常见的主接线方案	633
表 ZY5-6	高压配电线路常见的结线方式	634
表 ZY5-7	低压配电线路常见的结线方式	636
(三) 变配电所的结构型式及所址选择		637
表 ZY5-8	变配电所的结构型式及其适用范围	637
表 ZY5-9	变配电所所址的选择及负荷中心的确定	638
(四) 变配电所的布置与结构		640
表 ZY5-10	变配电所的总体布置要求(据 GB50053—94)	640
表 ZY5-11	变配电所的建筑结构要求(据 GB50053—94)	641
表 ZY5-12	室内、外配电装置的最小电气安全净距(据 GB50053—94)	642
表 ZY5-13	变压器外廓与变压器室墙壁和门的最小净距(据 GB50053—94)	643
表 ZY5-14	露天或半露天变电所的变压器围栏及有关距离(据 GB50053—94)	643
表 ZY5-15	高压配电室内各种通道最小宽度(据 GB50053—94)	643
表 ZY5-16	低压配电室内各种通道最小宽度(据 GB50053—94)	644

表 ZY5-17	封闭式变压器室通风窗的有效面积(据 88D264—130)	644
表 ZY5-18	全国主要城市夏季通风计算温度(据 88D264—131 整理)	646
图 ZY5-1	35/10kV 单层布置变电所平、剖面图	648
图 ZY5-2	35/10kV 双层布置变电所平、剖面图	649
表 ZY5-19	变配电所的布置方案示例	650
(五)	变配电装置标准安装图	652
图 ZY5-3	GN2-10 隔离开关在墙上安装	653
图 ZY5-4	GN2-10 隔离开关在墙上支架上安装	654
图 ZY5-5	FN3-10R 负荷开关在墙上安装(一)	655
图 ZY5-6	FN3-10R 负荷开关在墙上安装(二)	656
图 ZY5-7	隔离开关及负荷开关安装附件	657
图 ZY5-8	变压器室布置图(宽面布置,附设式低式)	659
图 ZY5-9	变压器室布置图(窄面布置,附设式低式)	660
图 ZY5-10	变压器室布置图(宽面布置,附设式高式)	661
图 ZY5-11	变压器室布置图(窄面布置,附设式高式)	662
图 ZY5-12	变压器室布置图(窄面布置,附设式低式,右方架空进线)	663
图 ZY5-13	变压器室布置图(宽面布置,附设式低式,前方架空进线)	664
图 ZY5-14	变压器室布置图(宽面布置,车间内式,有风坑和储油池)	665
图 ZY5-15	变压器室布置图(窄面布置,车间内式,有风坑和储油池)	666
图 ZY5-16	变压器室布置图(宽面布置,车间内式,无风坑,有储油池)	667
图 ZY5-17	变压器室布置图(窄面布置,车间内式,无风坑,有储油池)	668
图 ZY5-18	变压器室土建设计任务图(敞开式,窄面布置,附设式低式)	669
图 ZY5-19	变压器室土建设计任务图(封闭式,宽面布置,附设式高式)	670
图 ZY5-20	变压器室土建设计任务图(封闭式,宽面布置,车间内式,有风坑和储油池)	671
图 ZY5-21	变压器室土建设计任务图(封闭式,窄面布置,车间内式,有风坑和储油池)	672
图 ZY5-22	变压器室土建设计任务图(封闭式,宽面布置,车间内式,无风坑,有储油池)	673
图 ZY5-23	变压器室土建设计任务图(封闭式,窄面布置,车间内式,无风坑,有储油池)	674
表 ZY5-20	杆上变压器台选用的高压跌落式熔断器	675
表 ZY5-21	杆上变压器台选用的低压刀熔开关	676
表 ZY5-22	杆上变压器台选用的低压并联电容器	676
表 ZY5-23	杆上变压器台的型式、结构和特征(据 86D265)	676
图 ZY5-24	GT13 型变压器台安装图	683
图 ZY5-25	GT15 型变压器台安装图	685
图 ZY5-26	GT27 型变压器台安装图	687
图 ZY5-27	GT31 型变压器台安装图	689
表 ZY5-24	户外落地式变压器台选用的高压熔断器、母线及联接材料(据 86D266)	690
图 ZY5-28	DD1 型落地式变压器台布置图	691
图 ZY5-29	DS1 型落地式变压器台布置图	693
图 ZY5-30	MB1 型落地式密闭变压器台布置图	694
(六)	供配电线路的结构和敷设	695
表 ZY5-25	架空线路的结构	695
表 ZY5-26	架空线路敷设的一般要求	698
表 ZY5-27	架空线路导线截面及与有关设施距离的要求	699

表 ZY5-28	电缆线路的结构	701
表 ZY5-29	电缆线路敷设的方式及一般要求	704
表 ZY5-30	电缆各支持点间的最大距离(据 GB50168—92)	705
表 ZY5-31	电缆的最小弯曲半径(据 GB50168—92)	705
表 ZY5-32	直埋的电缆之间及电缆与管道、道路、建筑物之间的最小净距(据 GB50168—92)	706
表 ZY5-33	室内和电缆沟或隧道内电缆敷设的要求(据 GB50054—95)	706
表 ZY5-34	低压配电线路的结构和敷设(据 GB50054—95 和 JGJ/T16—92)	708
	主要参考文献	714
六、导线、电缆及其选择(ZY6)		715
(一) 有关导线和电缆选择的名词术语		715
表 ZY6-1	有关导线和电缆选择的名词术语	715
(二) 导线和电缆的类型及其载流量		717
表 ZY6-2	裸导线的类型及其适用范围	717
表 ZY6-3	TJ、LJ、LGJ 的允许载流量	717
表 ZY6-4	绝缘导线的类型及其适用范围	718
表 ZY6-5	聚氯乙烯绝缘导线明敷的允许载流量	719
表 ZY6-6	聚氯乙烯绝缘导线穿钢管敷设的允许载流量	720
表 ZY6-7	聚氯乙烯绝缘导线穿硬塑料管敷设的允许载流量	721
表 ZY6-8	电力电缆型号的表示和含义	722
表 ZY6-9	电缆芯线的材质及其适用范围(据 GB50217—94)	723
表 ZY6-10	电缆芯线及其适用范围(据 GB50217—94)	723
表 ZY6-11	电缆的绝缘水平(据 GB50217—94)	723
表 ZY6-12	电缆外护层的型号及其适用范围(据 GB2952—82)	724
表 ZY6-13	部分电力电缆的型号及其适用范围	725
表 ZY6-14	1~3kV 油纸、聚氯乙烯绝缘电缆在空气中敷设时的允许载流量(据 GB50217—94)	726
表 ZY6-15	1~3kV 油纸、聚氯乙烯绝缘电缆直埋敷设时的允许载流量(据 GB50217—94)	727
表 ZY6-16	1~3kV 交联聚乙烯绝缘电缆在空气中敷设时的允许载流量(据 GB50217—94)	727
表 ZY6-17	1~3kV 交联聚乙烯绝缘电缆直埋敷设时的允许载流量(据 GB50217—94)	728
表 ZY6-18	6kV 三芯电力电缆在空气中和直埋敷设时的允许载流量(据 GB50217—94)	729
表 ZY6-19	10kV 三芯电力电缆在空气中和直埋敷设时的允许载流量(据 GB50217—94)	729
表 ZY6-20	架空电缆的允许载流量	730
表 ZY6-21	敷设条件不同时电缆允许载流量的校正系数(据 GB50217—94)	731
表 ZY6-22	矩形母线的类型及型号说明	732
表 ZY6-23	矩形铝母线的允许载流量(据 GB50060—92)	733
表 ZY6-24	裸导体载流量在不同海拔高度及环境温度下的综合校正系数(据 GB50060—92)	733
(三) 导线和电缆截面积的选择计算		733
表 ZY6-25	导线和电缆截面积的选择条件和程序	734
表 ZY6-26	按发热条件选择导线和电缆截面积	734
表 ZY6-27	按机械强度选择导线的最小截面积	735
表 ZY6-28	按经济电流密度选择导线和电缆的经济截面积	736
表 ZY6-29	线路电压损耗的计算	737
表 ZY6-30	三相线路单位长度每相阻抗值	738
	主要参考文献	739

七、供电系统的继电保护(ZY7)	740
(一) 有关继电保护的名词术语	740
表 ZY7-1 有关继电保护的名词术语	740
(二) 继电保护的任务和要求	743
表 ZY7-2 继电保护的任务和基本要求	743
表 ZY7-3 继电保护的最小灵敏系数(据 GB50062—92)	743
表 ZY7-4 继电保护对指示信号和互感器的要求(据 GB50062—92)	744
(三) 常用的保护继电器	744
表 ZY7-5 常用的机电式继电器	744
表 ZY7-6 常用的瓦斯继电器	751
(四) 常用的继电保护装置	752
表 ZY7-7 继电保护与电流互感器的接线方式	753
表 ZY7-8 对保护装置操作电源的一般要求(据 GB50062—92)	753
表 ZY7-9 保护装置常用的操作电源	754
表 ZY7-10 带时限的过电流保护	756
表 ZY7-11 电流速断保护	761
表 ZY7-12 电压速断保护	763
表 ZY7-13 方向过电流保护	765
表 ZY7-14 纵联差动保护	767
表 ZY7-15 横联差动保护	769
表 ZY7-16 线路的距离保护	770
表 ZY7-17 小接地电流系统的单相接地保护	774
表 ZY7-18 电力变压器的瓦斯保护	777
表 ZY7-19 电力变压器低压侧的单相接地短路保护	778
表 ZY7-20 电力变压器的过负荷保护	780
(五) 电力线路和设备保护装置的装设要求	781
表 ZY7-21 电力线路保护装置的装设要求(据 GB50062—92)	781
表 ZY7-22 电力变压器保护装置的装设要求(据 GB50062—92)	783
表 ZY7-23 电力电容器保护装置的装设要求(据 GB50062—92)	783
表 ZY7-24 高压电动机保护装置的装设要求(据 GB50062—92)	784
(六) 晶体管继电保护简介	785
表 ZY7-25 晶体管继电保护的特点与组成	785
表 ZY7-26 晶体管定时限过电流保护电路(示例)	788
表 ZY7-27 晶体管反时限过电流保护电路(示例)	789
表 ZY7-28 晶体管电流速断保护电路(示例)	789
表 ZY7-29 晶体管低电压保护电路(示例)	790
表 ZY7-30 晶体管单相接地保护电路(示例)	791
主要参考文献	793
八、供电系统的二次回路和自动装置(ZY8)	794
(一) 有关二次回路和自动装置的名词术语	794
表 ZY8-1 有关二次回路和自动装置的名词术语	794
(二) 常用的二次回路操作电源	795
表 ZY8-2 二次回路操作电源的类别和要求	795

表 ZY8-3 常用的直流操作电源	796
表 ZY8-4 GF 型铅酸蓄电池的型号和技术数据	802
表 ZY8-5 GNG 型镉镍蓄电池的型号和技术数据	802
(三) 断路器的控制、信号回路	803
表 ZY8-6 断路器控制、信号回路的任务、分类和要求	803
表 ZY8-7 断路器控制、信号回路示例	803
(四) 变电所的中央信号装置	807
表 ZY8-8 中央信号装置的类别和要求	807
表 ZY8-9 中央信号装置的接线示例	808
表 ZY8-10 闪光装置的原理接线	812
(五) 变电所的常用测量仪表	813
表 ZY8-11 变配电所常用测量仪表的一般要求(据 GBJ63—90)	814
表 ZY8-12 变配电所电能计量仪表的一般要求(据 GBJ63—90)	814
表 ZY8-13 变配电所电气测量和电能计量仪表装设的要求(据 GBJ63—90)	815
表 ZY8-14 变配电所电气测量电路示例	817
(六) 供电系统的自动装置	819
表 ZY8-15 电力线路的自动重合闸装置(ARD)	819
表 ZY8-16 备用电源自动投入装置(APD)	822
表 ZY8-17 供电系统远动装置简介	829
表 ZY8-18 高层建筑自动化系统(BAS)简介	831
(七) 二次回路的接线及安装图的绘制	836
表 ZY8-19 二次回路的接线要求(据 GB50171—92)	836
表 ZY8-20 二次回路安装图样的类别及其绘制	837
主要参考文献	839
九、电气安全、接地与防雷(ZY9)	841
(一) 有关电气安全、接地与防雷的名词术语	841
表 ZY9-1 有关电气安全、接地与防雷的名词术语	841
(二) 电气安全知识	845
表 ZY9-2 保证电气安全的一般措施	845
表 ZY9-3 安全电压(据 GB3805—83)	846
表 ZY9-4 安全电流	846
表 ZY9-5 触电急救法(据 DL408—91)	847
表 ZY9-6 保证电气工作安全的组织措施和技术措施(据 DL408—91)	850
表 ZY9-7 工作票格式(据 DL408—91)	855
表 ZY9-8 标示牌式样(据 DL408—91)	856
表 ZY9-9 常用电气绝缘工具试验要求(据 DL408—91)	857
表 ZY9-10 登高安全工具试验标准(据 DL408—91)	858
(三) 电气装置的接地与接零	858
表 ZY9-11 电气装置接地与接零的类型	858
表 ZY9-12 电气装置接地与接零的一般要求(据 GB50169—92)	858
表 ZY9-13 接地装置的选择(据 GB50169—92)	859
表 ZY9-14 接地装置的敷设(据 GB50169—92)	860
表 ZY9-15 携带式和移动式电气设备的接地要求(据 GB50169—92)	862

目 录

XXII

表 ZY9-16	等电位联结	862
表 ZY9-17	接地装置的接地电阻要求	862
表 ZY9-18	接地体工频接地电阻的近似计算公式	864
表 ZY9-19	接地体冲击接地电阻的近似计算公式(据 GB50057—94)	864
表 ZY9-20	土壤电阻率参考值	866
表 ZY9-21	接地装置的设计计算	866
表 ZY9-22	接地故障保护的要求(据 GB50054—95)	867
(四)	过电压与防雷	870
表 ZY9-23	过电压的类型	870
表 ZY9-24	接闪器的功能、类型和结构(据 GB50057—94)	870
表 ZY9-25	接闪器的引下线及接地装置(据 GB50057—94)	871
表 ZY9-26	避雷器的功能、类型和结构	872
表 ZY9-27	变配电所和电力线路的防雷措施与技术要求	875
表 ZY9-28	保护变配电所和电力线路的避雷针保护范围(据 GBJ64—83)	876
表 ZY9-29	保护变配电所和电力线路的避雷线保护范围(据 GBJ64—83)	877
表 ZY9-30	建筑物的防雷分类(据 GB50057—94)	878
表 ZY9-31	建筑物的防雷措施(据 GB50057—94)	879
表 ZY9-32	建筑物易受雷击的部位(据 GB50057—94)	882
表 ZY9-33	确定接闪器保护范围的滚球半径及避雷网的网格尺寸(据 GB50057—94)	883
表 ZY9-34	保护建筑物的避雷针保护范围(据 GB50057—94)	883
表 ZY9-35	保护建筑物的避雷线保护范围(据 GB50057—94)	887
	主要参考文献	890
十、	电气照明(ZY10)	891
(一)	有关电气照明的名词术语	891
表 ZY10-1	有关电气照明的名词术语	891
(二)	照明技术有关概念	895
表 ZY10-2	光谱和可见光	895
表 ZY10-3	光度量的名称、符号、定义和单位	895
表 ZY10-4	物体的光照性能	896
(三)	照明电光源和灯具	897
表 ZY10-5	常用的照明电光源	897
表 ZY10-6	常用电光源技术性能比较	904
表 ZY10-7	常用照明灯具的型号表示和含义(据 GB6859—86)	905
表 ZY10-8	常用照明灯具按配光特性的分类	905
表 ZY10-9	常用照明灯具按结构特点的分类	906
表 ZY10-10	部分常用灯具的主要技术数据	906
(四)	工业企业照明的照度标准	908
表 ZY10-11	工作场所作业面上的照度标准值(据 GB50034—92)	908
表 ZY10-12	一般生产车间和作业场所工作面上的照度标准值(据 GB50034—92)	908
表 ZY10-13	工业企业辅助建筑照度标准值(据 GB50034—92)	910
表 ZY10-14	厂区露天作业场所和交通运输线的照度标准值(据 GB50034—92)	911
(五)	民用建筑照明的照度标准	911
表 ZY10-15	图书馆建筑照明的照度标准值(据 GBJ133—90)	911

表 ZY10-16	办公楼建筑照明的照度标准值(据 GBJ133—90)	911
表 ZY10-17	商店、影剧院及旅馆等建筑照明的照度标准值(据 GBJ133—90)	912
表 ZY10-18	铁路、港口旅客站建筑照明的照度标准值(据 GBJ133—90)	913
表 ZY10-19	体育运动场地的照度标准值(据 GBJ133—90)	914
表 ZY10-20	运动场地彩电转播照明的照度标准值(据 GBJ133—90)	915
表 ZY10-21	住宅建筑及公用场所照明的照度标准值(据 GBJ133—90)	915
(六)	照明质量	915
表 ZY10-22	直接眩光限制等级(据 GB50034—92)	916
表 ZY10-23	直接型灯具的最小遮光角(据 GB50034—92)	916
表 ZY10-24	室内一般照明灯具的最低悬挂高度(据 GB50034—92)	916
表 ZY10-25	光源的色表类别及其适用场所示例(据 GB50034—92)	917
表 ZY10-26	光源的一般显色指数类别及其适用场所示例(据 GB50034—92)	917
表 ZY10-27	相对照度系数值(据 GB50034—92)	918
表 ZY10-28	照度均匀度要求(据 GB50034—92 和 GBJ133—90)	918
表 ZY10-29	长时间工作房间表面的反射比(据 GB50034—92)	918
(七)	照明设计	918
表 ZY10-30	照明方式和照明种类的选择(据 GB50034—92)	919
表 ZY10-31	照明光源和灯具的选择(据 GB50034—92)	919
表 ZY10-32	民用建筑照明的设计要求(据 GBJ133—90)	920
表 ZY10-33	照明供电要求(据 GB50034—92)	921
(八)	照明计算	922
表 ZY10-34	利用系数法	923
表 ZY10-35	GC1-A、B-1 型配照灯的利用系数值	923
表 ZY10-36	概算曲线法	924
表 ZY10-37	单位容量法	925
表 ZY10-38	逐点计算法	926
	主要参考文献	927
十一、	电能节约与无功补偿(ZY11)	928
(一)	有关电能节约和无功补偿的名词术语	928
表 ZY11-1	有关电能节约和无功补偿的名词术语	928
(二)	工厂电能节约的一般措施	928
表 ZY11-2	工厂电能节约的一般措施	929
(三)	供用电设备的电能节约	930
表 ZY11-3	电力变压器的电能节约	930
表 ZY11-4	电动机的电能节约	932
表 ZY11-5	电焊机的电能节约	934
表 ZY11-6	电热设备的电能节约	935
表 ZY11-7	电气照明的电能节约	935
(四)	无功功率的人工补偿	936
表 ZY11-8	无功补偿要求和无功补偿设备	937
表 ZY11-9	并联电容器组的结线和装设位置	937
表 ZY11-10	并联电容器组的选择计算	939
	主要参考文献	941

十二、供电工程设计(ZY12)	942
(一) 有关供电工程设计的名词术语	942
表 ZY12-1 有关供电工程设计的名词术语	942
(二) 供电设计的范围与内容	943
表 ZY12-2 供电设计的范围与内容	943
(三) 供电设计的程序与方法步骤	944
表 ZY12-3 供电设计阶段的划分	944
表 ZY12-4 工厂供电系统设计的阶段、程序和内容	945
表 ZY12-5 供电设计必需的基础资料	945
表 ZY12-6 供电设计与其它专业之间的配合	946
(四) 供电设计文件的编制	946
表 ZY12-7 初步设计文件的编制	946
表 ZY12-8 施工(图)设计文件的编制	947
(五) 供电设计的原则和依据	948
表 ZY12-9 供电设计必须遵循的原则	948
表 ZY12-10 供电设计依据的主要设计规范和技术标准	948
(六) 供电工程的计算机辅助设计(CAD)示例	949
表 ZY12-11 EES 电气工程设计软件包简介	949
主要参考文献	950
十三、供电系统的运行维护和检修试验(ZY13)	951
(一) 与供电系统运行维护和检修试验有关的部分名词术语	951
表 ZY13-1 与供电系统运行维护和检修试验有关的部分名词术语	951
(二) 变配电所的值班制度及值班员职责与工作要求	951
表 ZY13-2 变配电所的值班制度	952
表 ZY13-3 变配电所值班员的职责与工作要求	952
表 ZY13-4 倒闸操作票格式(据 DL408—91)	954
(三) 电力变压器的运行维护和检修试验	954
表 ZY13-5 电力变压器并列运行的条件	954
表 ZY13-6 电力变压器的运行维护	955
表 ZY13-7 电力变压器的检修	955
表 ZY13-8 电力变压器的试验(据 GB50150—91)	957
(四) 配电装置的运行维护和检修试验	962
表 ZY13-9 配电装置的运行维护	962
表 ZY13-10 配电装置的检修与试验	962
(五) 电力线路的运行维护和检修试验	966
表 ZY13-11 电力线路的运行维护	966
表 ZY13-12 电力线路的检修与试验	967
主要参考文献	969
索引	970

要 目

上篇 供电技术基础知识(JC)

一、数学基础(JC1)	3
二、物理基础(JC2)	68
三、化学基础(JC3)	90
四、工程制图基础(JC4)	110
五、机械工程基础(JC5)	221
六、电路和磁路基础(JC6)	254
七、电工测量基础(JC7)	296
八、电子技术基础(JC8)	322
九、计算机基础(JC9)	362
十、电工材料基础(JC10)	388
十一、电机和电器基础(JC11)	415
十二、发电厂和电力系统基础(JC12)	471
十三、现代企业管理基础(JC13)	489

下篇 供电技术专业知识的(ZY)

一、供电概论(ZY1)	519
二、电力负荷及其计算(ZY2)	530
三、短路电流及其计算(ZY3)	554
四、供电系统的主要设备及其选择(ZY4)	577
五、供电系统的结线和结构(ZY5)	622
六、导线、电缆及其选择(ZY6)	715
七、供电系统的继电保护(ZY7)	740
八、供电系统的二次回路和自动装置(ZY8)	794
九、电气安全、接地与防雷(ZY9)	841
十、电气照明(ZY10)	891
十一、电能节约与无功补偿(ZY11)	928
十二、供电工程设计(ZY12)	942
十三、供电系统的运行维护和检修试验(ZY13)	951
索引	970

上篇 供电技术基础知识
(JC)

→

→

←

一、数学基础 (JC1)

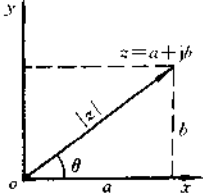
(一) 常用的数学名词术语

供电技术中较常用的数学名词术语, 如表 JC1-1 所示。

表 JC1-1 常用的数学名词术语

序号	名词术语	含义说明
1	数字 number	指记述数量的文字符号。1、2、3、4、5、6、7、8、9、0, 为阿拉伯数字。I、II、III、IV、V、VI、VII、VIII、IX、X 等, 为罗马数字, 依次表示 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10 等
2	数列 number series	指按照一定规则排列的一系列数字。例如 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10... 为“自然数”的数列; 1、4、7、10、13、16... 为“等差数列”; 2、4、8、16、32、64... 为“等比数列”
3	集合, 集 set	指具有某种属性的一些事物的全体。例如自然数的全体组成一个集合, 三角形的全体又组成一个集合, 等等
4	正数 positive number	指大于零的数
5	负数 negative number	指小于零的数
6	奇数 odd number	指不能被 2 整除的数。正的奇数也称为单数
7	偶数 even number	指能被 2 整除的数。正的偶数也称为双数
8	整数 integer	正整数、零和负整数的统称。如 1、2、3、... 等自然数即为正整数
9	分数 fraction	表示一个单位的几分之几的数字, 也是除法的一种书写形式, 分子是被除数, 分母是除数。凡分子小于分母的分数, 称为“真分数”, 如 $\frac{3}{7}$; 分子大于分母的分数, 称为“假分数”, 如 $\frac{7}{3}$ 。假分数可化为“带分数”, 如 $\frac{7}{3} = 2\frac{1}{3}$
10	小数 decimal	分母是 10、100、1000... 的真分数, 可改写为不带分母的“小数”, 例如 $\frac{3}{10}$ 写作 0.3, 这 0.3 称为“小数”。符号“.”称为“小数点”。任何实数都可以表示成整数与小数之和。例如圆周率 $\pi = 3.14159\cdots$ 就是整数 3 与无穷小数 0.14159... 之和
11	有理数 rational number	整数和分数的统称
12	无理数 irrational number	指含不循环的无穷小数的数。如圆周率 $\pi = 3.14159\cdots$, 自然对数的底 $e = 2.71828\cdots$, $\sqrt{2} = 1.414\cdots$ 等
13	指数 exponent	表示一个数自乘若干次的数字, 记在数的右上角。例如 a^n 的 n 就是指数, 也称为“幂”。 a^n 称作“ a 的 n 次幂”, 而 a 称为“幂的底数”

(续)

序号	名词术语	含义说明
14	对数 logarithm	如 $a^b = N (a \neq 1)$, 则 b 称为以 a 为底的 N 的对数, 记作 $\log_a N = b$, 式中 a 称为“底数”, N 称为“真数”。以 10 为底的对数, 称为“常用对数”, 记作 $\lg N$ 。以无理数 $e = 2.71828 \dots$ (参看表 JC1-2 序号 4.2) 为底的对数, 称为“自然对数”, 记作 $\ln N$
15	实数 real number	有理数和无理数的统称
16	虚数 imaginary number	指含有 $\sqrt{-1}$ 的数。 $\sqrt{-1}$ 称为“虚数单位”。在数学中, $\sqrt{-1}$ 用符号 i 表示。在电工中, $\sqrt{-1}$ 用符号 j 表示, 以便与电流符号 i 相区别
17	复数 complex number	指含有实数和虚数两部分的数。例如 $z = a + ib$ (在数学中) 或 $z = a + jb$ (在电工中)。其中, a 为复数的实部, 可记作 $\text{Re}z$; b 为复数的虚部, 可记作 $\text{Im}z$ 。 i 或 j 为虚数单位 $\sqrt{-1}$
18	共轭复数 conjugate complex number	指实部相等而虚部互为相反数的两个复数。例如 $a + jb$ 与 $a - jb$ 即为共轭复数。如果 $a + jb$ 记作 z , 则 $a - jb$ 记作 z^* 或 \bar{z}
19	复平面 plane of complex number	<p>指表示复数的平面。如右图所示, 在直角坐标平面内, 用点 $z(a, b)$ 来表示复数 $z = a + jb$, 即 x 轴为实轴, y 轴为虚轴 (j 轴), 则复数 z 对应的矢量为 \vec{oz}, 此矢量的长度 $|z| = \sqrt{a^2 + b^2}$, 称为复数 z 的“模”, 而矢量 \vec{oz} 与 x 轴之间的夹角 θ, 则称为复数 z 的“幅角”</p> 
20	算术平均数 arithmetic average	如果 a_1, a_2, \dots, a_n 都是正数, 则 $\frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}$ 称为“算术平均数”或“算术平均值”
21	加权平均数 weighted average	在计算若干个数量的平均值时, 考虑到每个数量在总量中所具有的重要性不同, 可分别给予不同的权数。设 a_1, a_2, \dots, a_n 为 n 个数量, 而 f_1, f_2, \dots, f_n 分别为 a_1, a_2, \dots, a_n 的权数, 则 $\frac{a_1 f_1 + a_2 f_2 + \dots + a_n f_n}{f_1 + f_2 + \dots + f_n}$ 为其“加权平均数”或“加权平均值”
22	几何平均数 geometric average	如果 a_1, a_2, \dots, a_n 都是正数, 则 $\sqrt[n]{a_1 a_2 \dots a_n}$ 称为“几何平均数”或“几何平均值”
23	直角 right angle	指 90° (即 $\frac{\pi}{2}$) 的角
24	平角 straight angle	指 180° (即 π) 的角
25	锐角 acute angle	指小于 90° (即小于 $\frac{\pi}{2}$) 的角
26	钝角 obtuse angle	指大于 90° ($\frac{\pi}{2}$) 而小于 180° (π) 的角

(续)

序号	名词术语	含义说明	
27	余角 complement, complementary angle	当两角之和等于 $90^\circ\left(\frac{\pi}{2}\right)$ 时,则其中任一角称为另一角的余角	
28	补角 supplement, supplementary angle	当两角之和等于 $180^\circ(\pi)$ 时,则其中任一角称为另一角的补角	
29	同位角 corresponding angle	指右图所示平面上一直线与两直线相截所得的八个角中的 $\angle 1$ 与 $\angle 5, \angle 2$ 与 $\angle 6, \angle 3$ 与 $\angle 7, \angle 4$ 与 $\angle 8$	
30	内错角 alternate interior angle	指右图所示八个角中的 $\angle 3$ 与 $\angle 6, \angle 4$ 与 $\angle 5$	
31	外错角 alternate exterior angle	指右图所示八个角中的 $\angle 1$ 与 $\angle 8, \angle 2$ 与 $\angle 7$	
32	同旁内角 interior angle in same side	指右图所示八个角中的 $\angle 3$ 与 $\angle 5, \angle 4$ 与 $\angle 6$	
33	同旁外角 exterior angle in same side	指右图所示八个角中的 $\angle 1$ 与 $\angle 7, \angle 2$ 与 $\angle 8$	
34	多边形 polygon	指由平面上多段直线围成的闭合图形。按其边数分别称为三角形、四边形、五边形等等。三角形通称“三角形”。所有内角相等的等边多边形,称为“正多边形”	
35	三角形 triangle	指将不在一直线上的三点,两两用线段连接起来的图形。三个角均为锐角的三角形,称为“锐角三角形”(图 a)。有一角为直角的三角形,称为“直角三角形”(图 b)。有一角为钝角的三角形,称为“钝角三角形”(图 c)。两边相等的三角形,称为“等腰三角形”(图 d)。三边相等的三角形,称为“等边三角形”或“正三角形”(图 e)	
36	四边形 quadrilateral	指由平面上四段直线围成的闭合图形。两组对边分别平行的四边形,称为“平行四边形”(图 a)。其内角为直角的平行四边形,称为“矩形”或“长方形”(图 b)。邻边相等而内角不为直角的平行四边形,称为“菱形”(图 c)。四边相等的矩形,称为“正方形”(图 d)。一组对边平行而另一组对边不平行的四边形,称为“梯形”(图 e)。	

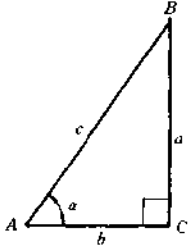
(续)

序号	名词术语	含 义 说 明
37	圆 circle	平面上与定点保持定距离的动点的轨迹,称为“圆”,或称此轨迹所围的部分为“圆”,而轨迹称为“圆周”。此定点称为“圆心”;此定距离称为圆的“半径”。圆周的一部分称为“圆弧”。连接圆周上两点的直线称为“弦”。过圆心的弦称为圆的“直径”。直径为半径的两倍
38	圆柱 cylinder	指两平行平面截取圆柱面所围成的立体。平面部分称为“底面”。曲面部分称为“侧面”。两底面间的距离称为圆柱的“高”。两底面中心的连线垂直于底面时,此圆柱称为“正圆柱”
39	圆锥 circular cone	圆周上动点与圆所在平面外一定点的连线所构成的曲面(此连线的轨迹),称为“圆锥面”。圆与其圆锥面所围成的立体,称为“圆锥”。此圆(平面)称为圆锥的“底面”。此平面外的定点称为圆锥的“顶点”。圆锥的顶点到底面的距离称为圆锥的“高”。当顶点到底面圆心的连线垂直于底面时,此圆锥称为“正圆锥”
40	椭圆 ellipse	平面上与两定点的距离和为一常数的动点的轨迹,称为“椭圆”。详见表 JC1-16
41	垂直线 vertical line	两条直线相交成直角,则这两条直线称为相互垂直。“垂直”可用符号“ \perp ”表示。垂直线简称“垂线”
42	平行线 parallel line	平面内永不相交的两条直线,称为“平行线”。“平行”可用符号“ \parallel ”表示。平行线的同位角相等,内错角相等,外错角相等,而同旁内角及同旁外角均互为补角
43	中线 central line	指三角形顶点与其对边中点的连线。三角形三条中线的交点,称为三角形的“重心”
44	切线 tangent line	指与圆或一段曲线只有一个接触点的直线。此接触点称为“切点”。圆的切线与过切点的圆半径相垂直
45	割线 secant line	指与圆或一段曲线有两个交点的直线
46	法线 normal line	指过曲线上一点,且与曲线在该点的切线垂直的直线,也指过曲面上一点,且与曲面在该点的切平面垂直的直线
47	圆周率 ratio of the circumference of a circle to its diameter	指圆的周长与直径之比,用 π 表示, $\pi=3.14159265358979323\cdots$ (无穷小数),通常取 $\pi=3.1416$ 。我国古代南北朝时的数学家祖冲之(429~500年),算得圆周率在3.1415926与3.1415927之间,并提出用 $22/7$ 和 $355/113$ 作为其近似值, $22/7$ 称为“约率”, $355/113$ 称为“密率”
48	区间 interval	区间是变量变化的范围,是指变量介于两个实数之间的全体实数。这两个实数称为区间的端点。区间分有限区间和无限区间两种。两端点都是有限数的,如 (a, b) ,称为“有限区间”。两端点至少有一个不是有限数的,如 $(-\infty, +\infty)$ 或 $(a, +\infty)$ 和 $(-\infty, b)$,称为“无限区间”。有限区间又分开区间,半开(半闭)区间和闭区间

(续)

序号	名词术语	含义说明
49	开区间 opened interval	设 a 与 b 为两个实数, 且 $a < b$, 则满足不等式 $a < x < b$ 的一切实数 x 的全体, 称为“开区间”, 记作 (a, b) 或 $]a, b[$
50	闭区间 closed interval	设 a 与 b 为两个实数, 且 $a < b$, 则满足不等式 $a \leq x \leq b$ 的一切实数 x 的全体, 称为“闭区间”, 记作 $[a, b]$ 。闭区间包括两 endpoints a, b 在内
51	半开(半闭)区间 half-open or half-close interval	满足不等式 $a < x \leq b$ 或 $a \leq x < b$ 的一切实数 x 的全体, 称为“半开半闭区间”或“半闭半开区间”, 分别记作 $(a, b]$ 、 $]a, b)$ 或 $[a, b)$ 、 $]a, b[$
52	函数 function	如果两个变量 x, y , 对于某一范围内的 x 的每一个值, y 都有确定的值与之对应, 则 y 称为 x 的“函数”, 记作 $y = f(x)$ 。其中 x 称为“自变量”, y 称为“因变量”。 x 的变化范围, 称为“函数的定义域”。与 x 对应的 y 值, 称为“函数值”。函数值的集合, 称为“函数的值域”
53	原函数 prine function	设 $f(x)$ 是定义于区间 (a, b) 的函数, 如果存在另一个函数 $F(x)$, 对于 (a, b) 中每一点 x , $\frac{d}{dx} \times F(x) = f(x)$, 则称 $F(x)$ 为 $f(x)$ 的一个“原函数”。例如 x^2 是 $2x$ 的一个原函数。此外, 拉普拉斯(Laplace)变换前的函数, 也称为“原函数”; 而拉氏变换后的函数, 则称为“象函数”
54	反函数 inverse function	从 $y = f(x)$ 的函数关系中, 解出 x , 得到另一函数关系 $x = g(y)$, 则 $g(y)$ 称为 $f(x)$ 的“反函数”, 也可记作 $f^{-1}(x)$ 或 $f^{-1}(y)$ 。这时 y 看作自变量, 而 x 看作因变量。例如 $x = y^3$ 是 $y = x^{\frac{1}{3}}$ 的反函数
55	奇函数 odd function	如果函数 $y = f(x)$ 对于定义域内任意一个自变量 x , 都有 $f(-x) = -f(x)$ 成立, 则 $y = f(x)$ 称为“奇函数”。例如 $y = x^3, y = \sin x$ 都是奇函数。奇函数的图象特征是其曲线对称于原点
56	偶函数 even function	如果函数 $y = f(x)$ 对于定义域内任意一个自变量 x , 都有 $f(-x) = f(x)$ 成立, 则 $y = f(x)$ 称为“偶函数”。例如 $y = x^2, y = \cos x$ 都是偶函数。偶函数的图象特征是其曲线对称于 y 轴
57	增函数 increase function	如果函数 $y = f(x)$ 在某区间上有定义, 且对此区间内的任意两个自变量的值 x_1, x_2 , 当 $x_1 < x_2$ 时, 对应的函数值都有 $f(x_1) < f(x_2)$, 则称 $y = f(x)$ 为该区间上的“增函数”。例如 $y = x^2$ 在区间 $[0, +\infty)$ 上是增函数
58	减函数 decrease function	如果函数 $y = f(x)$ 在某区间上有定义, 且对此区间内的任意两个自变量的值 x_1, x_2 , 当 $x_1 < x_2$ 时, 对应的函数值都有 $f(x_1) > f(x_2)$, 则称 $y = f(x)$ 为该区间上的“减函数”。例如 $y = x^2$ 在区间 $(-\infty, 0]$ 上是减函数
59	代数函数 algebraic function	如果函数 $y = f(x)$ 满足关系 $P_0(x)y^n + P_1(x)y^{n-1} + \dots + P_n(x) = 0$ 式中, n 为正整数, $P_0(x), P_1(x), \dots, P_n(x)$ 均为 x 的多项式, 且 $P_0(x) \neq 0$, 则称 $y = f(x)$ 为 x 的“代数函数”。例如 $y = 3x + 1, y = \sqrt{x^2 - 1}$ 等
60	超越函数 transcendental function	所有非代数函数的函数, 统称为“超越函数”, 包括指数函数、对数函数、三角函数和反三角函数等

(续)

序号	名词术语	含义说明
61	指数函数 exponential function	函数 $y=a^x$ (常数 $a>0$, 且 $a\neq 1$), 称为“指数函数”。例如 $y=2^x, y=0.5^x$ 。它的定义域是一切实数。值域是一切正实数
62	对数函数 logarithmic function	函数 $y=\log_a x$ (常数 $a>0$, 且 $a\neq 1$), 称为“对数函数”。例如 $y=\log_5 x, y=\log_{0.3} x$ 。它的定义域是一切正实数。值域是一切实数
63	三角函数 trigonometry function	三角函数包括下列函数(参看右图): 正弦 $\sin\alpha = \frac{a}{c}$; 余弦 $\cos\alpha = \frac{b}{c}$ 正切 $\tan\alpha = \frac{a}{b}$; 余切 $\cot\alpha = \frac{b}{a}$ 正割 $\sec\alpha = \frac{c}{b}$; 余割 $\csc\alpha = \frac{c}{a}$ 
64	反三角函数 inverse trigonometry function	反三角函数是三角函数的反函数, 包括下列函数: 反正弦函数 $\arcsin x$; 反余弦函数 $\arccos x$; 反正切函数 $\arctan x$ 反余切函数 $\text{arccot} x$; 反正割函数 $\text{arcsec} x$; 反余割函数 $\text{arccsc} x$
65	线性函数 linear function	x 的一次多项式 $ax+b$, 称为 x 的“线性函数”或“一次函数”。一般的一次多项式 $a_1x_1+a_2x_2+\dots+a_nx_n+b$, 称为 x_1, x_2, \dots, x_n 的线性函数
66	周期函数 periodic function	对于函数 $y=f(x)$, 如果存在一个不等于零的常数 T , 使得当 x 取定义域内的任意值时, 都有 $f(x+T)=f(x)$ 成立, 则函数 $y=f(x)$ 称为“周期函数”
67	级数 series	设已给数列 $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n, \dots$, 则式子 $a_1+a_2+a_3+\dots+a_n+\dots = \sum_{n=1}^{\infty} a_n$ 称为“无穷级数”, 简称“级数”
68	算术级数 arithmetic series	设已给等差数列 $a, a+d, a+2d, \dots, a+(n-1)d, \dots$, 则式子 $a+(a+d)+(a+2d)+\dots+[a+(n-1)d]+\dots = \sum_{n=1}^{\infty} [a+(n-1)d]$ 称为“算术级数”或“等差级数”。其中 d 称为级数的公差。例如级数 $1+3+5+7+\dots$, 公差为 2
69	几何级数 geometric series	设已给等比数列 $a, aq, aq^2, \dots, aq^{n-1}, \dots$, 则式子 $a+aq+aq^2+\dots+aq^{n-1}+\dots = \sum_{n=1}^{\infty} aq^{n-1}$ 称为“几何级数”或“等比级数”, 其中 q 称为级数的公比。例如级数 $2+4+8+16+\dots$, 公比为 2
70	三角级数 trigonometry series	形式如 $\frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx)$ 的级数, 称为“三角级数”, 其中 a_0, a_n, b_n 都是常数

(续)

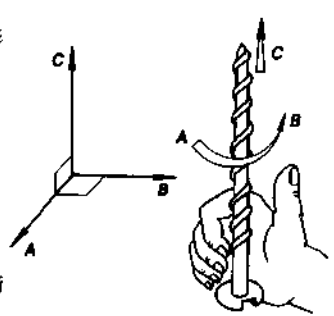
序号	名词术语	含义说明
71	傅里叶级数 Fourier series	<p>设函数 $f(x)$ 在区间 $[-\pi, \pi]$ 可积, 则积分 $a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos nx dx (n = 0, 1, 2, \dots), b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin nx dx (n = 1, 2, 3, \dots)$ 均存在, 它们所定出的系数 a_n, b_n, 称为函数 $f(x)$ 的“傅里叶系数”, 而与之相对应的三角级数</p> $\frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx)$ <p>称为函数 $f(x)$ 的傅里叶级数</p>
72	解析式 analytic formula	<p>指用数学运算符号将数字和字母连成的式子。例如 $a+b, \sqrt{a^2+b^2}, \frac{x-5}{x+1}, \sin x + \tan x - 1, \lg(x+y)$ 等。单独一个字母或数字也称解析式。它包括代数式和超越式两类。通常用 $f(x)$ 或 $g(x)$ 等表示含有未知数 x 的解析式; 用 $f(x, y)$ 或 $g(x, y)$ 等表示含有两个未知数 x, y 的解析式</p>
73	代数式 algebraic formula	<p>指用数学运算符号加、减、乘、除、乘方(有理数次)、开方(正整数次)将数字和字母连成的式子。例如 $a+b, \sqrt{a^2+b^2}, \frac{x-5}{x+1}$ 等</p>
74	超越式 transcendental formula	<p>指含有无理数次乘方、对数运算、三角运算和反三角运算的解析式。例如 $\sin x + \tan x - 1, \lg(x+y)$ 等</p>
75	方程, 方程式 equation	<p>指含有未知数的等式。例如 $ax^2+bx+c=0, xy+x+2y=5$ 等(式中 x, y 为未知数)</p>
76	代数方程 algebraic equation	<p>指方程中仅含有未知数的代数式。例如整式方程 $2x+5y=3$, 分式方程 $\frac{x-1}{x+1}=5$, 均为代数方程</p>
77	线性方程 linear equation	<p>即一次代数方程。通常是按未知数多少列出几个方程组成线性方程组</p>
78	超越方程 transcendental equation	<p>为指数方程、对数方程、三角方程和反三角方程的统称</p>
79	指数方程 exponential equation	<p>指在指数里含有未知数的方程。例如 $5^x = 3^{x+1} + 1$</p>
80	对数方程 logarithmic equation	<p>指在对数符号后面含有未知数的方程。例如 $\lg(x+3) - \lg(2x-1) = 3 + \lg 5$</p>
81	三角方程 trigonometry equation	<p>指含有未知数的三角函数的方程。例如 $\sin x = a, 3\sin^2 x - 5\sin x + 1 = 0$</p>
82	反三角方程 inverse trigonometry equation	<p>指含有未知数的反三角函数的方程。例如 $\arccos x + \arccos y = \frac{\pi}{3}$</p>

(续)

序号	名词术语	含义说明
83	导数 derivative	<p>设函数 $y=f(x)$ 在 $x=x_0$ 及其邻域有定义,且当 x 从 x_0 变到 $x_0+\Delta x$ 时,函数 y 有一个相应的改变量 $\Delta y=f(x_0+\Delta x)-f(x_0)$,则极限</p> $\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} \Big|_{x=x_0} = \frac{dy}{dx} \Big|_{x=x_0}$ <p>称为函数 $y=f(x)$ 在 $x=x_0$ 处的“导数”或“微商”,也称“一阶导数”。函数 $y=f(x)$ 的一阶导数 $\frac{dy}{dx}$ 也可写作 $f'(x)$ 或 y',而函数 $f(x)$ 则称为 $f'(x)$ 的一个原函数</p>
84	高阶导数 derivative of higher order	<p>函数 $y=f(x)$ 的一阶导数的导数,称为“二阶导数”,记作 $f''(x)$ 或 y'' 或 $\frac{d^2y}{dx^2}$。二阶导数的导数,称为“三阶导数”,记作 $f'''(x)$ 或 y''' 或 $\frac{d^3y}{dx^3}$。其余依此类推。二阶及二阶以上导数,统称“高阶导数”</p>
85	偏导数 partial derivative	<p>表示多元函数对某个自变量的变化率。以二元函数 $f(x,y)$ 为例,如果极限</p> $\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x+\Delta x,y)-f(x,y)}{\Delta x}$ <p>存在,则称它为函数 $f(x,y)$ 在点 (x,y) 对 x 的“偏导数”,记作 $\frac{\partial f}{\partial x}$。同样可以定义 $f(x,y)$ 在点 (x,y) 对 y 的偏导数 $\frac{\partial f}{\partial y}$</p>
86	微分 differential	<p>函数 $y=f(x)$ 在点 x 处的导数 $f'(x)=\frac{dy}{dx}$ 与自变量的改变量 Δx 的乘积,称为函数 $y=f(x)$ 在点 x 处的“微分”,简称函数 y 的微分或一阶微分,记作 dy,即 $dy=f'(x)\Delta x$。由于自变量 x 的改变量 Δx 就是它的微分 dx,因此函数 $y=f(x)$ 的微分也可写成 $dy=f'(x)dx$,符号 d 称为“微分号”</p>
87	不定积分 indefinite integral	<p>设 $F(x)$ 为函数 $f(x)$ 在某区间内的一个原函数,则其原函数的全体 $F(x)+C$ 称为 $f(x)$ 的“不定积分”,记作 $\int f(x)dx = F(x) + C$,其中 C 称为积分常数,$f(x)$ 称为被积函数,$f(x)dx$ 称为被积表达式,x 称为积分变量,符号 \int 称为“积分号”</p>
88	定积分 definite integral	<p>设 $f(x)$ 在闭区间 $[a,b]$ 上连续,用 $n+1$ 个分点 $a=x_1 < x_2 < \dots < x_n < x_{n+1} = b$ 将区间 $[a,b]$ 分成 n 个小区间 $[x_i, x_{i+1}] (i=1, 2, 3, \dots, n)$,其长度各为 $\Delta x_i = x_{i+1} - x_i$,在每个小区间 $[x_i, x_{i+1}]$ 上任取一点 ξ_i。作为和式 $\sum_{i=1}^n f(\xi_i)\Delta x_i$。当 $n \rightarrow \infty$,并且其中最大的 $\Delta x_i \rightarrow 0$ 时,如果和式的极限存在,则称这极限为 $f(x)$ 在区间 $[a,b]$ 上的“定积分”,记作 $\int_a^b f(x)dx$,即</p> $\int_a^b f(x)dx = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n f(\xi_i)\Delta x_i$ <p>其中 a 称为“积分下限”,b 称为“积分上限”,$[a,b]$ 称为“积分区间”</p>
89	重积分 repeat integral	<p>指被积函数为多元函数的多重积分,包括二重积分、三重积分等。二重积分的被积函数为二元函数 $f(x,y)$。二重积分记作 $\iint_D f(x,y)d\sigma$,其中 D 是函数 $f(x,y)$ 所在 D 平面上的闭区域,$d\sigma$ 是 D 区域内的微小区域。三重积分的被积函数为三元函数 $f(x,y,z)$。三重积分记作 $\iiint_{\Omega} f(x,y,z)dV$,其中 Ω 是函数 $f(x,y,z)$ 所在 Ω 空间中的闭区域,dV 是 Ω 区域内的微小区域</p>

(续)

序号	名词术语	含义说明
90	微分方程 differential equation	<p>指含有未知函数的导数或偏导数的方程。如果微分方程中的未知函数为一元函数,则此方程称为“常微分方程”,简称“微分方程”。如果未知函数为多元函数,则称为“偏微分方程”。微分方程中出现的导数或偏导数的最高阶数,称为微分方程的“阶”。例如 R-L 串联电路的电流方程</p> $L \frac{di}{dt} + Ri = E$ <p>就是一阶微分方程;而 R-L-C 串联电路的电流方程</p> $L \frac{d^2i}{dt^2} + R \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} i = \frac{dE(t)}{dt}$ <p>则是二阶微分方程</p>
91	齐次多项式 homogeneous polynomial	指每一项的次数都相等的多项式。例如 $ax^2+by^2+cy^2$ 即为 x, y 的二次齐次多项式
92	齐次线性方程 homogeneous linear equation	指每一项的次数都相等的一次方程(线性方程)。例如 $3x+2y+5z=0$, 为三元齐次线性方程。 $a_1x_1+a_2x_2+\dots+a_nx_n=0$, 则为齐次线性方程的一般式
93	齐次微分方程 homogeneous differential equation	<p>指具有 $f(x, y) = \frac{dy}{dx} = \varphi\left(\frac{y}{x}\right)$ 特征的微分方程。例如 $(xy-y^2)dx - (x^2-2xy)dy=0$ 即为齐次微分方程, 因为</p> $f(x, y) = \frac{dy}{dx} = \frac{xy-y^2}{x^2-2xy} = \frac{\frac{y}{x} - \left(\frac{y}{x}\right)^2}{1-2\left(\frac{y}{x}\right)} = \varphi\left(\frac{y}{x}\right)$
94	线性微分方程与齐次 线性微分方程 linear differential equation and homogeneous linear differential equation	<p>如果微分方程是未知函数及其各阶导数的一次方程,则此微分方程称为“线性微分方程”。n 阶线性微分方程的一般式为</p> $y^{(n)} + p_1y^{(n-1)} + p_2y^{(n-2)} + \dots + p_ny = f$ <p>式中, p_1, p_2, \dots, p_n 和 f 均为自变量 x 的函数 如果上式中 $f=0$, 则称为齐次线性微分方程</p>
95	行列式 determinant	<p>将 n^2 个数 $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1n}, a_{21}, a_{22}, \dots, a_{2n}, \dots, a_{n1}, a_{n2}, \dots, a_{nn}$, 排成 n 行和 n 列的正方阵, 并在其左、右两侧各画一条纵线, 如下式所示, 即称为“行列式”</p> $\det A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix}$ <p>其中 a_{11}, a_{12}, \dots 称为行列式的“元素”, 此式的横排称为“行”, 竖排称为“列”。有 n 行 n 列的行列式就称为 n 阶行列式</p>

序号	名词术语	含义说明
96	矩阵 matrix	<p>将 $m \times n$ 个数(元素) $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{mn}$ 排成 m 行(横排)和 n 列(竖排)的矩形,并在其左右两侧加上方括号或圆括号,如下式所示,即称为 $m \times n$ 阶的“矩阵”</p> $A = [A] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}, \text{或 } A = (A) = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}$ <p>如果 $m=n$,则称为“n 阶矩阵”或“方阵” 如果只有 1 行,则称为“行矩阵”或“行向量”;如果只有 1 列,则称为“列矩阵”或“列向量”</p>
97	标量 scalar	<p>在一已定单位制中可用一个数(实数或复数)来表征的量,称为“标量”。标量只有大小没有方向,如功率、面积、温度等</p>
98	矢量 vector	<p>在 n 维空间内可用按给定次序排列的 n 个标量来表征的量,称为“矢量”或“向量”。矢量既有大小又有方向,如力、速度、电场强度等</p>
99	标量积;点积,点乘 scalar product; point product	<p>矢量 A 与矢量 B 相乘,形成一个标量</p> $P = A \cdot B = |A| |B| \cos \varphi$ <p>式中 φ 为 A 与 B 的夹角。这种乘积又称“数量积”。 (注:按 GB3102.11 规定,矢量的字母,印刷用黑体,如 A,而书写则在字母上边加箭头,如 \vec{A})</p>
100	矢量积;叉积,叉乘 vector product; cross product	<p>在如图所示的三维空间内,矢量 A 与矢量 B 相乘,形成一个新的矢量</p> $C = A \times B$ <p>C 的大小为</p> $|C| = |A| |B| |\sin \varphi|$ <p>C 的方向符合右手螺旋定则(参看附图) 这种乘积又称“向量积”(矢量又称向量) (注意:矢量的字母,印刷用黑体,书写时字母上边加箭头。)</p> 

(二) 常用的数学符号

供电技术中较常用的数学符号,如表 JC1-2 所示。这些符号摘自 GB3102.11—93《物理科学和技术中使用的数学符号》。

表 JC1-2 常用的数学符号(据 GB3102.11—93)

序号	符号	应用	意义或读法	备注及示例
1	运算符号			
1.1	+	$a+b$	a 加 b	
1.2	-	$a-b$	a 减 b	
1.3	\pm	$a\pm b$	a 加或减 b	
1.4	\mp	$a\mp b$	a 减或加 b	$-(a\pm b) = -a\mp b$
1.5		ab	a 乘以 b	①数字相乘一般用“ \times ”,不用“ \cdot ”,以免与小 数点混淆;②向量代数运算中,“ \times ”与“ \cdot ” 有区别(参看表 JC1-1 序号 99 和 100)
	\cdot	$a\cdot b$		
	\times	$a\times b$		
1.6	-	$\frac{a}{b}$	a 除以 b , 或 a 被 b 除	①应用斜线(/)时,在同一行内不应有多于 一条斜线的情况,必要时应加括号,例如 $\frac{a/b}{c} = (a/b)/c = ab^{-1}c^{-1}$,但不能写作 $a/b/c$ ②斜线后不得有乘号,必要时应加括号,例 如 $\frac{a}{bc} = a/bc = a/(b\cdot c)$,但不能写作 $a/b\cdot c$
	/	a/b		
		ab^{-1}		
1.7	\sum	$\sum_{i=1}^n a_i$	$a_1+a_2+\dots+a_n$	①也可记作 $\sum_{i=1}^n a_i, \sum_i a_i, \sum_i a_i, \sum_i a_i$ ② $\sum_{i=1}^{\infty} a_i = a_1 + a_2 + \dots + a_n + \dots$
1.8	\prod	$\prod_{i=1}^n a_i$	$a_1 \cdot a_2 \cdot \dots \cdot a_n$	①也可记作 $\prod_{i=1}^n a_i, \prod_i a_i, \prod_i a_i, \prod_i a_i$ ② $\prod_{i=1}^{\infty} a_i = a_1 \cdot a_2 \cdot \dots \cdot a_n \cdot \dots$
1.9	a^p		a 的 p 次方,或 a 的 p 次幂	
1.10		$a^{1/2}$	a 的二分之一次方; a 的二次方根	在使用符号 $\sqrt{\quad}$ 或 $\sqrt[n]{\quad}$ 时,为避免混淆,应采 用括号将被开方的复杂表示式括起来
		$a^{\frac{1}{2}}$		
	$\sqrt{\quad}$	\sqrt{a}		
	$\sqrt{\quad}$	\sqrt{a}		
1.11		$a^{1/n}$	a 的 n 分之一次方; a 的 n 次方根	
		$a^{\frac{1}{n}}$		
	$\sqrt[n]{\quad}$	$\sqrt[n]{a}$		
	$\sqrt[n]{\quad}$	$\sqrt[n]{a}$		
1.12	$| \quad |$	$|a|$	a 的绝对值; a 的模	也可用 $\text{abs}a$ (“ abs ”为绝对值英文“ absolute value ”的缩写)
1.13	$!$	$n!$	n 的阶乘	$n \geq 1$ 时, $n! = \prod_{k=1}^n k = 1 \times 2 \times 3 \times \dots \times n$ $n=0$ 时, $n! = 1$

(续)

序号	符号	应用	意义或读法	备注及示例
2	几何符号			
2.1	—	\overline{AB} , AB	[直]线段 AB	用 $|AB|$、AB 或小写拉丁字母表示该线段的长(注:行文中方括号内的文字表示可以略去或不读,下同)
2.2	\sphericalangle		[平面]角	
2.3	\frown	\widehat{AB}	弧 AB	当 \widehat{AB} 为圆弧时,可用 \widehat{AB} 表示圆弧 AB [对应]的度数
2.4	π		圆周率	圆周长与直径的比(参看表 JC1-1 序号 47)
2.5	\triangle		三角形	
2.6	\square		平行四边形	
2.7	\odot		圆	
2.8	\perp		垂直	
2.9	\parallel, \equiv		平行	\equiv 用于表示平行且相等
2.10	\sim		相似	
2.11	\cong		全等	
2.12	\because		因为	据 GB3102.11-86 规定,但在新国标 GB3102.11-93 已取消。考虑到过去应用广泛,特录以参考
2.13	\therefore		所以	
3	函数符号			
3.1	f		函数 f	
		$f(x)$	函数 f 在 x 的值	
		$f(x, y, \dots)$	函数 f 在 (x, y, \dots) 的值	
3.2	$f|_a^b$ [$\int_a^b f(x) dx$]	$f(x)|_a^b, [f(x)]_a^b$	$f(b) - f(a)$	这种表示法主要用于定积分计算
3.3	\rightarrow	$x \rightarrow a$	x 趋于 a	
3.4	\lim	$\lim_{x \rightarrow a} f(x)$	x 趋于 a 时 $f(x)$ 的极限	
3.5	$\overline{\lim}$		上极限	
3.6	$\underline{\lim}$		下极限	
3.7	\simeq		渐近等于	例: $\frac{1}{\sin(x-a)} \simeq \frac{1}{x-a}$ 当 $x \rightarrow a$
3.8	Δx		x 的[有限]增量	
3.9	$\frac{df}{dx}$ df/dx f'		单变量函数 f 的导[函]数或微商	也可用 Df 即: $\frac{df(x)}{dx}, df(x)/dx, f'(x), Df(x)$ 如自变量为时间 t ,也可用 \dot{f} 表示 df/dt

(续)

序号	符号	应用	意义或读法	备注及示例
3 函数符号				
3.10		$\left(\frac{df}{dx}\right)_{x=a}$ $(df/dx)_{x=a}$ $f'(a)$	函数 f 的导[函]数在 a 的值	也可用 $\frac{df}{dx}\Big|_{x=a}$ 或 $Df(a)$
3.11		$\frac{d^n f}{dx^n}$ $d^n f/dx^n$ $f^{(n)}$	单变量函数 f 的 n 阶导[函]数	也可用 $D^n f$ 当 $n=2$ 时,也可用 f'' ; $n=3$ 时,也可用 f''' 如自变量为时间 t ,可用 f 来代替 $\frac{d^2 f}{dt^2}$
3.12	$\frac{\partial f}{\partial x}$ $\partial f/\partial x$ $\partial_x f$		多变量 x, y, \dots 的函数 f 对于 x 的偏微商或偏导数	即: $\frac{\partial f(x, y, \dots)}{\partial x}, \partial f(x, y, \dots)/\partial x, \partial_x f(x, y, \dots)$, 也可用 f_x 或 $\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)_{y, \dots}$
3.13	df		函数 f 的全微分	$df(x, y, \dots) = \frac{\partial f}{\partial x} dx + \frac{\partial f}{\partial y} dy + \dots$
3.14	\int	$\int f(x) dx$	函数 f 的不定积分	
3.15		$\int_a^b f(x) dx$ $\int_c^b f(x) dx$	函数 f 由 a 至 b 的定积分	
3.16	\iint	$\iint_A f(x, y) dA$	函数 $f(x, y)$ 在集合 A 上的二重积分	$\int_C, \int_S, \int_V, \oint$ 分别用于沿曲线 C , 沿曲面 S , 沿体积 V 以及沿闭曲线或闭曲面的积分
4 指数函数和对数函数符号				
4.1	a^x		x 的指数函数(以 a 为底)	比较序号 1.9
4.2	e		自然对数的底	$e = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n = 2.7182818\dots$ 另一表达式为 $e = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n!} = \frac{1}{0!} + \frac{1}{1!} + \frac{1}{2!} + \frac{1}{3!} + \dots$ $= 1 + 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{6} + \dots$ $= 2.7182818\dots$
4.3	e^x $\exp x$		x 的指数函数(以 e 为底)	在同一场合中,只用其中一种符号
4.4	$\log_a x$		以 a 为底的 x 的对数	当底数不必指出时,常用 $\log x$ 表示

(续)

序号	符号	应用	意义或读法	备注及示例
6	复数符号			
6.2	Re z		z 的实部	$z = x + jy$, 其中 $x = \text{Re}z, y = \text{Im}z$
6.3	Im z		z 的虚部	
6.4	$|z|$		z 的绝对值; z 的模	也可用 mod z
6.5	arg z		z 的辐角; z 的相	$z = re^{j\varphi}$, 其中 $r = |z|, \varphi = \text{arg}z$, 即 Re $z = r\cos\varphi, \text{Im}z = r\sin\varphi$
6.6	z^*		z 的[复]共轭	有时用 \bar{z} 代替 z^*
7	矩阵符号			
7.1	$A, \begin{pmatrix} A_{11} & \cdots & A_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ A_{m1} & \cdots & A_{mn} \end{pmatrix}$		$m \times n$ 型的矩阵 A	也可用 $A = (A_{ij})$, A_{ij} 是矩阵 A 的元素; m 为行数, n 为列数 当 $m = n$ 时, A 称为[正]方阵。矩阵元可用小写字母表示 也可用方括号代替矩阵表示中的圆括号
7.2	AB		矩阵 A 与 B 的积	$(AB)_{ik} = \sum_j A_{ij} B_{jk}$ 式中 A 的列数必须等于 B 的行数
7.3	E, I		单位矩阵	方阵的元素 $E_{ik} = \delta_{ik}$ (δ 为克罗内克符号)
7.4	A^{-1}		方阵 A 的逆	$AA^{-1} = A^{-1}A = E$
7.5	A^T, \bar{A}		A 的转置矩阵	$(A^T)_{ik} = A_{ki}$; 也可用 A'
7.6	A^*		A 的复共轭矩阵	$(A^*)_{ik} = (A_{ik})^* = A_{ik}^*$, 在数学中也常用 \bar{A}
7.7	$\det A$ $\begin{vmatrix} A_{11} & \cdots & A_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ A_{n1} & \cdots & A_{nn} \end{vmatrix}$		方阵 A 的行列式	
7.8	$\text{tr}A$		方阵 A 的迹	$\text{tr}A = \sum_i A_{ii}$
8	矢量和张量符号			
8.1	\underline{a} \vec{a}		矢量或向量 a	印刷用黑体 a , 书写用 \vec{a}
8.2	a$ |a|$		矢量 a 的模或长度	也可用 $\|a\|$
8.3	$a \cdot b$		a 与 b 的标量积或数量积	
8.4	$a \times b$		a 与 b 的矢量积或向量积	

(续)

序号	符号	应用	意义或读法	备注及示例
8	矢量和张量符号			
8.5	∇^2		那勃勒算子或算符 (nabla operator)	也称“矢量微分算子”或“哈密尔顿(Hamilton)算子”
8.6	$\nabla\varphi$ grad φ		φ 的梯度(gradient of φ)	
8.7	$\nabla \cdot a$ div a		a 的散度(divergence of a)	
8.8	$\nabla \times a$ rota curl a		a 的旋度 (curl of a)	
8.9	∇^2 Δ		拉普拉斯算子 (Laplacian)	
8.10	T		二阶张量 T	也用于 $\vec{\vec{T}}$
9	集合论符号			
9.1	\in	$x \in A$	x 属于 A ; x 是集合 A 的一个元[素]	集合 A 可简称“集 A ”
9.2	\notin	$y \notin A$	y 不属于 A ; y 不是集合 A 的一个元[素]	也可用 \notin 或 $\bar{\in}$
9.3	\ni	$A \ni x$	集 A 包含[元] x	
9.4	$\bar{\ni}$	$A \bar{\ni} y$	集 A 不包含[元] y	也可用 $\bar{\ni}$ 或 $\bar{\ni}$
9.5	\subseteq	$B \subseteq A$	B 含于 A ; B 是 A 的子集	B 的每一元均属于 A ,也可用 \subset
9.6	$\not\subseteq$	$C \not\subseteq A$	C 不包含于 A ; C 不是 A 的子集	也可用 $\not\subset$
9.7	\supseteq	$A \supseteq B$	A 包含 B [作为子集]	A 包含了 B 的每一元,也可用 \supset
9.8	$\not\supseteq$	$A \not\supseteq C$	A 不包含 C [作为子集]	也可用 $\not\supset$ $A \not\supseteq C$ 与 $C \not\subseteq A$ 的含义相同
9.9	\cup	$A \cup B$	A 与 B 的并集	属于 A 或属于 B 或属于两者的所有元的集
9.10	\cap	$A \cap B$	A 与 B 的交集	所有既属于 A 又属于 B 的元的集
9.11	\setminus	$A \setminus B$	A 与 B 之差, A 减 B	所有属于 A 但不属于 B 的元的集 也可用 $A-B$
9.12	\times	$A \times B$	A 与 B 的笛卡儿积	所有由 $a \in A$ 与 $b \in B$ 作成的有序偶 (a, b) 的集
10	数理逻辑符号			
10.1	\wedge	$p \wedge q$	合取符号	p 和 q
10.2	\vee	$p \vee q$	析取符号	p 或 q
10.3	\neg	$\neg p$	否定符号	p 的否定;不是 p ;非 p
10.4	\Rightarrow	$p \Rightarrow q$	推断符号	若 p 则 q ; p 蕴含 q 也可写作 $q \leftarrow p$ 。有时也用 \rightarrow

(续)

序号	符号	应用	意义或读法	备注及示例
10	数理逻辑符号			
10.5	\Leftrightarrow	$p \Leftrightarrow q$	等价符号	$p \Rightarrow q$ 且 $q \Rightarrow p$, p 等价于 q 有时也用 \leftrightarrow
11	杂类符号			
11.1	$=$	$a = b$	a 等于 b	符号“ $=$ ”用来强调这一等式是数学上的恒等式
11.2	\neq	$a \neq b$	a 不等于 b	
11.3	<u>def</u>	$a \stackrel{\text{def}}{=} b$	按定义(definition) a 等于 b , 或 a 以 b 为定义	也可用 $\stackrel{d}{=}$
11.4	$\overset{\wedge}{\sim}$	$a \overset{\wedge}{\sim} b$	a 相当于 b	例如在地图上当 1cm 相当于 10km 长时, 可写成 $1\text{cm} \overset{\wedge}{\sim} 10\text{km}$
11.5	\approx	$a \approx b$	a 约等于 b	符号“ \approx ”用于“渐近等于”(参看序号 3.7)
11.6	\propto	$a \propto b$	a 与 b 成正比	
11.7	\vdots	$a \vdots b$	a 比 b	
11.8	$<$	$a < b$	a 小于 b	
11.9	$>$	$a > b$	a 大于 b	
11.10	\leq	$a \leq b$	a 小于或等于 b	不用 \leq
11.11	\geq	$b \geq a$	b 大于或等于 a	不用 \geq
11.12	\ll	$a \ll b$	a 远小于 b	
11.13	\gg	$b \gg a$	b 远大于 a	
11.14	∞		无穷[大]或无限[大]	
11.15	\sim	$a \sim b$	数字范围	这里 a, b 为不同的实数
11.16	.	13.59	小数点	整数和小数之间用处于下方位置的小数点“.”分开
11.17	$\cdot\cdot$	3.12382	循环小数	即 3.12382382...
11.18	%	5%~10%	百分率	“~”前的%不应省略
11.19	()		圆括号	
11.20	[]		方括号	
11.21	{ }		花括号	
11.22	< >		角括号	
11.23	±		正或负	
11.24	∓		负或正	
11.25	max		最大(maximum)	
11.26	min		最小(minimum)	

(三) 代数知识

1. 常用的代数公式 如表 JC1-3 所示。

表 JC1-3 常用的代数公式

序号	项 目	公 式	
1	恒等式	$a^2 - b^2 = (a+b)(a-b)$ $a^3 \pm b^3 = (a \pm b)(a^2 \mp ab + b^2)$ $(a \pm b)^2 = a^2 \pm 2ab + b^2$ $(a \pm b)^3 = a^3 \pm 3a^2b + 3ab^2 \pm b^3$ $(a+b+c)^2 = a^2 + b^2 + c^2 + 2ab + 2bc + 2ca$	
2	分式	基本性质	$\frac{a}{b} = \frac{am}{bm} \quad (m \neq 0)$
		分式加减	$\frac{a}{b} \pm \frac{c}{b} = \frac{a \pm c}{b}$ $\frac{a}{b} \pm \frac{c}{d} = \frac{ad \pm bc}{bd}$
		分式相乘	$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{ac}{bd}$
		分式相除	$\frac{a}{b} \div \frac{c}{d} = \frac{ad}{bc}$
		分式乘方	$\left(\frac{a}{b}\right)^n = \frac{a^n}{b^n}$
		分式开方	$\sqrt[n]{\frac{a}{b}} = \sqrt[n]{a} / \sqrt[n]{b}$
3	比例	比例式	$a:b=c:d$ 或 $\frac{a}{b} = \frac{c}{d} \quad (a, b, c, d \text{ 均不为零})$
		内外项定理	$ad=bc$
		反比定理	$b:a=d:c$ 或 $\frac{b}{a} = \frac{d}{c}$
		更比定理	$a:c=b:d$ 或 $\frac{a}{c} = \frac{b}{d}$
		合比定理	$\frac{a+b}{b} = \frac{c+d}{d}$
		分比定理	$\frac{a-b}{b} = \frac{c-d}{d}$
		分合比定理	$\frac{a+b}{a-b} = \frac{c+d}{c-d}$ 或 $\frac{a-b}{a+b} = \frac{c-d}{c+d}$
		等比定理	设 $\frac{a}{b} = \frac{c}{d} = \frac{e}{f}$ 则 $\frac{a+c+e}{b+d+f} = \frac{a}{b}$

(续)

序号	项 目	公 式	
4	基本性质	$(\sqrt[n]{a})^n = \sqrt[n]{a^n} = a \quad (a \geq 0)$	
	变形规则	$(\sqrt[n]{a})^m = \sqrt[n]{a^m} \quad (a \geq 0)$ $\sqrt[n]{a^m} = \sqrt[n]{a^m} \quad (a \geq 0)$ $\sqrt[n]{ab} = \sqrt[n]{a} \sqrt[n]{b} \quad (a \geq 0, b \geq 0)$ $\sqrt[n]{\frac{a}{b}} = \frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}} \quad (a \geq 0, b \geq 0)$	
5	等差数列	通项	$a_n = a_1 + (n-1)d \quad (d \text{ 为公差})$
		前 n 项和	$S_n = \frac{a_1 + a_n}{2} n = na_1 + \frac{n(n-1)}{2} d$
		等差中项	设 a, b, c 成等差数列 则 $b = \frac{1}{2}(a+c)$
	等比数列	通项	$a_n = a_1 \cdot q^{n-1} \quad (q \text{ 为公比})$
		前 n 项和	$S_n = \frac{a_1 - a_n q}{1-q} = \frac{a_1(1-q^n)}{1-q} = \frac{a_1(q^n-1)}{q-1}$
		等比中项	设 a, b, c 成等比数列 则 $b = \pm \sqrt{ac}$
6	等差级数之和	$S = a + (a+d) + (a+2d) + \dots + [a + (n-1)d]$ $= \frac{n[2a + (n-1)d]}{2}$	
	等比级数之和	$S = a + aq + aq^2 + \dots + aq^{n-1}$ $= a \frac{1-q^n}{1-q} = a \frac{q^n-1}{q-1}$	
7	一元二次方程求解	方程式 $ax^2 + bx + c = 0 \quad (a \neq 0)$ 方程式的根 $x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$ 根的判别式 $b^2 - 4ac \begin{cases} > 0 & \text{不等的两实根} \\ = 0 & \text{相等的两实根} \\ < 0 & \text{共轭的复数根} \end{cases}$	
	二元一次方程组求解	方程组	$\begin{cases} a_1x + b_1y = c_1 \\ a_2x + b_2y = c_2 \end{cases}$
		方程组的根	$x = \frac{\begin{vmatrix} c_1 & b_1 \\ c_2 & b_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix}} = \frac{c_1b_2 - c_2b_1}{a_1b_2 - a_2b_1}$ $y = \frac{\begin{vmatrix} a_1 & c_1 \\ a_2 & c_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix}} = \frac{a_1c_2 - a_2c_1}{a_1b_2 - a_2b_1}$

(续)

序号	项 目	说 明 及 公 式
4	行列式的行列互换	其值不变,即转置不变 例: $\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{vmatrix}$
5	行与行或列与列互换	其值反号 例: $\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = - \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_3 & b_3 & c_3 \\ a_2 & b_2 & c_2 \end{vmatrix}$
6	将一行(或一列)元素乘以数 k 后加到另一行(或另一列)的相应元素上	其值不变 例: $\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2+ka_1 & b_2+kb_1 & c_2+kc_1 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}$
7	行列式的性质 如果两行(或两列)的元素相同	其值为零 例: $\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_1 & b_1 & c_1 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = 0, \begin{vmatrix} a_1 & c_1 & c_1 \\ a_2 & c_2 & c_2 \\ a_3 & c_3 & c_3 \end{vmatrix} = 0$
8	行列式的性质 如果两行(或两列)的对应元素成比例	其值为零 例: $\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ ka_1 & kb_1 & kc_1 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = 0, \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & kb_1 \\ a_2 & b_2 & kb_2 \\ a_3 & b_3 & kb_3 \end{vmatrix} = 0$
9	行列式的性质 用数 k 乘行列式的一行(或一列)	其值等于数 k 乘此行列式 例: $\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ ka_2 & kb_2 & kc_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = k \cdot \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}$
10	如果行列式的一行(或一列)元素可表示为两项之和	此行列式等于两个同阶行列式之和 例: $\begin{vmatrix} a_1+a'_1 & b_1 & c_1 \\ a_2+a'_2 & b_2 & c_2 \\ a_3+a'_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a'_1 & b_1 & c_1 \\ a'_2 & b_2 & c_2 \\ a'_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}$
	行列式与其代数余子式的关系	行列式等于其任意一行(或一列)的各元素与对应于它们的代数余子式的乘积之和 例: $\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}$ $= a_1 \times (-1)^{1+1} \begin{vmatrix} b_2 & c_2 \\ b_3 & c_3 \end{vmatrix} + b_1 \times (-1)^{1+2} \begin{vmatrix} a_2 & c_2 \\ a_3 & c_3 \end{vmatrix} + c_1 \times (-1)^{1+3} \begin{vmatrix} a_2 & b_2 \\ a_3 & b_3 \end{vmatrix}$ $= a_1 \begin{vmatrix} b_2 & c_2 \\ b_3 & c_3 \end{vmatrix} - b_1 \begin{vmatrix} a_2 & c_2 \\ a_3 & c_3 \end{vmatrix} + c_1 \begin{vmatrix} a_2 & b_2 \\ a_3 & b_3 \end{vmatrix}$

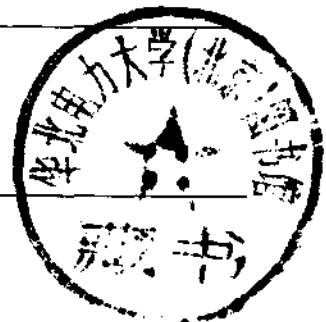
(续)

序号	项 目	说 明 及 公 式
12	二阶行列式	例: $\begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix} = a_1b_2 - a_2b_1$
	三阶行列式	例: $\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = a_1b_2c_3 + b_1c_2a_3 + c_1a_2b_3 - a_3b_2c_1 - b_3c_2a_1 + c_3a_2b_1$
13	三角形行列式(或对角形行列式)的对角线各元素的乘积代数值得行列式之值	例: $\begin{vmatrix} a_1 & & & \\ & b_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & b_{n-1} \\ a_n & & & & m_n \end{vmatrix} = a_1b_2 \cdots m_n$ (对角线元素乘积) $\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & \cdots & m_1 \\ & a_2 & & b_2 \\ & & \ddots & \\ & & & a_{n-1} & b_{n-1} \\ & & & & a_n \end{vmatrix} = (-1)^{\frac{n(n-1)}{2}} m_1 \cdots b_{n-1} a_n$ (对角线元素乘积)
14	利用行列式余子式进行降阶运算	参看本表序号 11、12 的公式
15	克莱姆(Cramer)法则	例: 线性方程组 $\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n = b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n = b_2 \\ \dots\dots\dots \\ a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \cdots + a_{nn}x_n = b_n \end{cases}$ 其唯一的解为 $x_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta}; x_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta}; \dots; x_n = \frac{\Delta_n}{\Delta}$ 式中 $\Delta = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{vmatrix} \neq 0$ $\Delta_1 = \begin{vmatrix} b_1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ b_2 & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ b_n & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{vmatrix}$ $\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_{11} & b_1 & \cdots & a_{1n} \\ a_{12} & b_2 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & b_n & \cdots & a_{nn} \end{vmatrix}$ \vdots $\Delta_n = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & b_2 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & b_n \end{vmatrix}$

3. 矩阵的概念、性质和运算法则 如表 JC1-5 所示。表中矩阵符号全采用方括号，即矩阵 A 写作 $[A]$ 。

表 JC1-5 矩阵的概念、性质和运算法则

序号	项 目	说 明 及 公 式
1	矩阵的秩	<p>如果矩阵 $[A]$ 中有某一个 r 阶行列式不为零, 而大于 r 阶的行列式均为零, 则此 r 称为矩阵 $[A]$ 的秩。 n 阶矩阵, $r=n$ 时, 称为满秩矩阵; $r < n$ 时, 称为降秩矩阵; $r=0$ 时, 称为零秩矩阵</p> <p>例</p> $[A] = \begin{bmatrix} 2 & -3 & 8 & 2 \\ 2 & 12 & -2 & 12 \\ 1 & 3 & 1 & 4 \end{bmatrix} \text{ 中, 行列式}$ $\begin{vmatrix} 2 & -3 & 8 \\ 2 & 12 & -2 \\ 1 & 3 & 1 \end{vmatrix} = 0, \begin{vmatrix} -3 & 8 & 2 \\ 12 & -2 & 12 \\ 3 & 1 & 4 \end{vmatrix} = 0,$ <p>只有 $\begin{vmatrix} 2 & -3 \\ 2 & 12 \end{vmatrix} \neq 0, \dots$, 因此 $[A]$ 的秩为 2</p>
2	矩阵的转置矩阵	<p>将矩阵 $[A]$ 的行列互换, 则互换后的矩阵称为 $[A]$ 的转置矩阵, 写作 $[A]^T, [\bar{A}], [A]'$ 或 A^T, \bar{A}, A'</p> <p>关系式为 $[A_{ik}] = [A_{ki}]^T$, 即 $A_{ik} = (A_{ki})^T$</p> <p>例</p> $[A] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}, \text{ 则 } [A]^T = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} & a_{31} \\ a_{12} & a_{22} & a_{32} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} \end{bmatrix}$
3	对角形矩阵	<p>矩阵的主对角线两侧元素均为零的矩阵, 称为对角形矩阵</p> <p>例</p> $\begin{bmatrix} a_1 & & & & \\ & b_2 & & & \\ & & c_3 & & \\ & & & \ddots & \\ & & & & m_n \end{bmatrix}$
4	单位矩阵	<p>对角线上元素均为 1 的对角形矩阵, 称为单位矩阵, 用 E 或 I (即 $[E]$ 或 $[I]$) 来表示</p> <p>例</p> $[E] = \begin{bmatrix} 1 & & & & \\ & 1 & & & \\ & & 1 & & \\ & & & \ddots & \\ & & & & 1 \end{bmatrix}$
5	零矩阵	<p>所有元素均为零的矩阵, 称为零矩阵, 用 $[0]$ 表示</p> <p>例</p> $[0] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$



(续)

序号	项目	说明及公式
6	逆矩阵	<p>如果矩阵$[A][B]=[E]$,则矩阵$[B]$称为矩阵$[A]$的逆矩阵。逆矩阵写作$[A]^{-1}$或A^{-1}</p> <p>例</p> $\text{设 } [A] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$ <p>则</p> $[A]^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{A_{11}}{\Delta} & \frac{A_{21}}{\Delta} & \frac{A_{31}}{\Delta} \\ \frac{A_{12}}{\Delta} & \frac{A_{22}}{\Delta} & \frac{A_{32}}{\Delta} \\ \frac{A_{13}}{\Delta} & \frac{A_{23}}{\Delta} & \frac{A_{33}}{\Delta} \end{bmatrix}$ <p>式中 $\Delta = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}$</p> <p>$A_{11}, A_{21}, \dots$ 分别为行列式 Δ 中 a_{11}, a_{21}, \dots 的代数余子式</p> <p>例</p> $A_{11} = \begin{vmatrix} a_{22} & a_{23} \\ a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}, A_{21} = - \begin{vmatrix} a_{12} & a_{13} \\ a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}$
7	系数矩阵与增广矩阵	<p>例</p> $\text{线性方程组} \begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 = b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 = b_2 \\ a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 = b_3 \end{cases}$ <p>$[A] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$ 称为系数矩阵(亦可表示为 A)</p> <p>$[A] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & b_2 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & b_3 \end{bmatrix}$ 称为增广矩阵(亦可表示为 \bar{A})</p>
8	矩阵与行列式的区别	<p>1. 行列式不仅表示有序排列的数表,而且表示一个数值</p> <p>例</p> $\begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 1 \\ 3 & 1 & 2 \end{vmatrix} = -18$ <p>而矩阵仅表示有序排列的数表,不表示任何数值</p> <p>例</p> $\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 1 \\ 3 & 1 & 2 \end{bmatrix} \text{ 不能认为等于某一数值}$ <p>2. 行列式的行数与列数相同;而矩阵的行数与列数不一定相同</p>

(续)

序号	项 目	说 明 及 公 式
9	矩阵转置不变的条件	<p>如果$[A]=[A]^T$,则$[A]$必须是对称矩阵。例如</p> $[A]=\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}=[A]^T \text{ 的条件为 } a_{12}=a_{21}, a_{13}=a_{31}, a_{23}=a_{32}$
10	矩阵转置的转置	$(([A]^T)^T=[A])$
11	矩阵相加	<p>满足交换律 $[A]+[B]=[B]+[A]$ 满足结合律 $[A]+([B]+[C])=([A]+[B])+[C]$</p>
12	矩阵相乘	<p>满足结合律 $[A]([B][C])=([A][B]) [C]$ 满足分配律 $[A]([B]+[C])=[A][B]+[A][C]$ 不满足交换律 $[A][B]\neq[B][A]$</p>
13	矩阵乘以数 k	<p>矩阵乘以 k 等于矩阵所有元素乘 k</p> <p>例 $k\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} ka_{11} & ka_{12} & ka_{13} \\ ka_{21} & ka_{22} & ka_{23} \end{bmatrix}$</p>
14	矩阵的加减 $[A]\pm[B]=[C]$	<p>$[C]$的元素 $c_{ij}=a_{ij}\pm b_{ij}$,其中 a_{ij}和 b_{ij}分别为$[A]$、$[B]$元素</p> <p>例 $\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \end{bmatrix}\pm\begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \end{bmatrix}$</p> $=\begin{bmatrix} a_{11}\pm b_{11} & a_{12}\pm b_{12} & a_{13}\pm b_{13} \\ a_{21}\pm b_{21} & a_{22}\pm b_{22} & a_{23}\pm b_{23} \end{bmatrix}$ <p>注意:相加减的矩阵,必须行数相同,列数相同</p>
15	矩阵的运算法则 矩阵的相乘 $[A][B]=[C]$ ("行乘列"规则)	<p>$[C]$的元素 $c_{ik}=\sum_{j=1}^n a_{ij}b_{jk}$,其中 a_{ij}和 b_{jk}分别为$[A]$、$[B]$元素</p> <p>例 $\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \\ a_{31} & a_{32} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \end{bmatrix}$</p> $=\begin{bmatrix} a_{11}b_{11}+a_{12}b_{12} & a_{11}b_{12}+a_{12}b_{22} & a_{11}b_{13}+a_{12}b_{23} \\ a_{21}b_{11}+a_{22}b_{12} & a_{21}b_{12}+a_{22}b_{22} & a_{21}b_{13}+a_{22}b_{23} \\ a_{31}b_{11}+a_{32}b_{12} & a_{31}b_{12}+a_{32}b_{22} & a_{31}b_{13}+a_{32}b_{23} \end{bmatrix}$ <p>注意:相乘的矩阵$[A]$的列数必须与被乘的矩阵$[B]$的行数相同</p>

(续)

序号	项目	说明及公式
16	矩 阵 的 运 算 法 则 利用逆矩阵求解 线性方程组	<p>设线性方程组</p> $\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 = b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 = b_2 \\ a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 = b_3 \end{cases}$ <p>令 $[A] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$, $[x] = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$, $[B] = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix}$</p> <p>则 $[A][x] = [B]$</p> <p>如果 $[A]$ 对应的行列式 $\Delta \neq 0$, 则 $[A]$ 的逆矩阵 $[A]^{-1}$ 存在, 因此</p> $[A]^{-1}[A][x] = [A]^{-1}[B]$ <p>即 $[x] = [A]^{-1}[B]$</p> <p>利用两矩阵相等, 其对应的元素也相等, 即可求出 x_1, x_2, x_3</p>
17	线性方程组有解 的充要条件	<p>设线性方程组</p> $\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 = b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 = b_2 \\ a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 = b_3 \end{cases}$ <p>其系数矩阵 $[A] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$</p> <p>其增广矩阵 $[A] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & b_2 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & b_3 \end{bmatrix}$</p> <p>上列方程组有解的充要条件为 $[A]$ 的秩与 $[A]$ 的秩相等</p>

(四) 几何知识

1. 平面几何的基本定理和公式 如表 JC1-6 所示。

表 JC1-6 平面几何的基本定理和公式

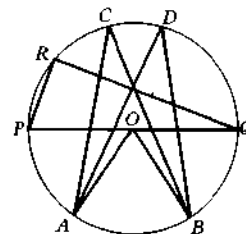
序号	项目	说明及公式
1	平 行 线	<p>平行线判定定理</p> <p>两条直线被第三条直线所截, 如果①内错角相等, 或②外错角相等, 或③同位角相等, 或④同旁内角互补, 或⑤同旁外角互补, 则这两条直线平行</p>
	理	<p>平行线等分线段定理</p> <p>一组平行线在一条直线上截得相等的线段, 则在其它直线上也截得相等的线段</p>

(续)

序号	项 目	说 明 及 公 式	
2	三 角 形	三角形内角和定理	三角形三个内角之和等于 $180^\circ(\pi)$, 即 $\triangle ABC$ 的 $\angle A + \angle B + \angle C = 180^\circ$
		三角形外角定理	三角形的一个外角等于与它不相邻的两个内角之和, 即 $\triangle ABC$ 的外角 $\angle C' = 180^\circ - \angle C = \angle A + \angle B$
		三角形边角不等关系定理	① 三角形任意两边之和大于第三边, 即 $a + b > c$, 这里 a, b, c 为 $\triangle ABC$ 的三个对应边 ② 三角形任意两边之差小于第三边, 即 $|a - b| < c$ ③ 不等边三角形中, 大边所对的角大, 小边所对的角小, 设 $a > b$, 则 $\angle A > \angle B$ ④ 不等角三角形中, 大角所对的边长, 小角所对的边短, 设 $\angle A > \angle B$, 则 $a > b$
		三角形重心定理	三角形的三条中线相交于一点(称为重心), 该点与各边中点的距离, 等于各边上中线的 $1/3$
		三角形全等判定定理	两个三角形, 如果①有两边及其夹角对应相等, 或②有两角及其夹边对应相等, 或③有三边对应相等, 则这两个三角形全等. 对直角三角形, 则除了满足上述条件能全等外, 一斜边和一直角边对应相等, 两直角三角形也全等
		勾股定理	直角三角形 ABC ($\angle C$ 为直角) 中 $a^2 + b^2 = c^2$ 式中, a, b, c 分别为 A, B, C 的对边, 其中 c 为斜边
3	四 边 形	三角形面积公式	① $S = \frac{1}{2}bh$ 式中 h 为三角形 b 边的高 ② $S = \frac{1}{2}absinC$ 式中 C 为三角形 a, b 两边所夹的角 ③ $S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$ 式中 a, b, c 为三角形的三个边长, $p = \frac{1}{2}(a+b+c)$
		矩形对角线定理	矩形的两对角线相等, 并互相平分, 对角相等
		矩形面积	$S = ab$ 式中, a, b 为矩形两邻边的长
		平行四边形的对边和对角线	平行四边形的对边相等, 两对角线互相平分, 对角相等
		平行四边形面积	$S = bh$ 式中, h 为平行四边形 b 边上的高
		菱形的边和对角线	菱形的四边相等, 两对角线互相垂直和平分, 且每条对角线平分一组对角
		菱形面积	① $S = bh$ 式中, h 为菱形 b 边上的高 ② $S = \frac{1}{2}d_1d_2$ 式中, d_1, d_2 为菱形两对角线的长
梯形面积	$S = \frac{1}{2}(a+b)h$ 式中, a, b 为梯形的上底和下底; h 为梯形的高		

(续)

序号	项 目		说 明 及 公 式
4	正多边形	正三角形	$S = \frac{\sqrt{3}}{4} a^2$ 式中, a 为等边三角形每边的长
		边长	$a = \sqrt{3} R = 2 \sqrt{3} r$ 式中, R 为三角形外接圆(其圆心为三角形三边的垂直平分线的交点,称为“外心”)的半径; r 为三角形内切圆(其圆心为三角形三个内角的平分线的交点,称为“内心”)的半径
	正六边形	面积	$S = \frac{3}{2} \sqrt{3} a^2$ 式中, a 为正六边形每边的长
		边长	$a = R = \frac{2}{3} \sqrt{3} r$ 式中, R 为六边形外接圆半径; r 为六边形内切圆半径
5	圆	圆的切线定理	圆的切线垂直于经过切点的半径(或直径)
		切线长定理	从圆外一点引至圆的两条切线,其长度相等
		割线定理	从圆外一点引至圆的两条割线,在一条割线上从该点到圆上两交点的线段之积,等于另一条割线上两对应线段之积
		切、割线定理	从圆外一点引至圆的一条割线和一条切线,割线上从该点到圆上两交点的线段之积,等于切线长的平方
		圆周角与圆心角	①同一圆弧上的圆周角相等,如右图中 $\angle ACB = \angle ADB$ ②圆周角等于圆心角的一半,如右图中 $\angle ACB = \frac{1}{2} \angle AOB$ ③半圆周(直径 PQ)上的圆周角为直角,如右图中 $\angle PRQ = 90^\circ$
		圆周长	$c = \pi d = 2\pi r$ 式中, d 为圆的直径; r 为圆的半径
		圆弧长	$l = r\theta = \frac{\pi r}{180^\circ} n$ 式中, θ 为圆弧的弧度; n 为圆弧的角度
		圆面积	$S = \pi r^2 = \frac{1}{4} \pi d^2$ 式中, r 为圆的半径; d 为圆的直径
		扇形面积	$S = \frac{1}{2} r l = \frac{1}{2} r^2 \theta$ 式中, r 为扇形所属圆的半径; l 为弧长; θ 为扇形角的弧度
		弓形面积	$S = \frac{1}{2} r^2 \theta - \frac{1}{2} b \sqrt{r^2 - \left(\frac{b}{2}\right)^2}$ 式中, r 为弓形所属圆的半径; θ 为弓形所对圆心角的弧度; b 为弓的弦长



2. 立体几何的基本定理和公式 如表 JC1-7 所示。

表 JC1-7 立体几何的基本定理和公式

序号	项 目	说 明 及 公 式
1	空 间 直 线 与 平 面 的 关 系	<p>①如果一条直线与一个平面平行,而经过该直线的另一个平面与该平面相交,则该直线与两平面的交线平行</p> <p>②如果一条直线与一个平面平行,则过此平面内的任一点与此直线平行的直线只有一条,并且此直线必在这已知平面内</p> <p>③经过直线 l 外一点 A 有无穷多个平面与直线 l 平行,这些平面都经过含有 A 点且平行于直线 l 的同一平面</p>
	直线与平面平行判定定理	平面外的一条直线如果与该平面内的一条直线平行,则该直线与该平面平行
	直线与平面垂直性质定理	<p>①如果一条直线与一个平面垂直,则该直线与该平面内任何一条直线都垂直</p> <p>②如果两条直线垂直于同一个平面,则这两条直线必互相平行</p> <p>③经过直线上一点 A 并与该直线垂直的直线,全都在经过 A 点并与该直线垂直的平面内</p>
	直线与平面垂直判定定理	<p>①如果一条直线垂直于一个平面内的两条相交直线,则该直线垂直于该平面</p> <p>②如果两条平行直线中的一条垂直于一个平面,则另一条也垂直于该平面</p> <p>③两个相交平面同时垂直于第三个平面,则其交线必垂直于第三平面</p>
2	空 间 两 个 平 面 的 关 系	<p>①如果两个平行平面同时与第三个平面相交,则它们的交线互相平行</p> <p>②如果一条直线垂直于两个平行平面中的一个平面,则该直线也垂直于另一个平面</p> <p>③如果一条直线与两个平行平面中的一个平面相交,则也必与另一个平面相交</p> <p>④如果两个平面互相平行,则其中任一平面上的任何一条直线均平行于另一个平面</p>
	两个平面平行判定定理	<p>①如果一个平面上有两条相交直线都平行于另一个平面,则这两个平面互相平行</p> <p>②垂直于同一条直线的两个平面互相平行</p> <p>③平行于同一平面的两个平面互相平行</p>
	两个平面垂直性质定理	<p>①如果两个平面垂直,则在一个平面上垂直于它们交线的直线,必垂直于另一个平面</p> <p>②如果两个平面垂直,则从其中一个平面上一点到另一个平面的垂线必在前一个平面上</p> <p>③如果两相交平面都垂直于第三个平面,则其交线必垂直于这第三个平面</p>
	两个平面垂直判定定理	如果一个平面经过另一个平面的一条垂线,则这两个平面互相垂直

(续)

序号	项 目	说 明 及 公 式
3	多 面 体	欧拉(Euler)定理 简单多面体的顶点数 V 、棱数 E 、面数 F 三者之间存在下列关系 $V + F - E = 2$
		直棱柱的侧面积 $S = ch$ 式中, c 为棱柱端面的周长; h 为棱柱的高
		直棱柱的体积 $V = Sh$ 式中, S 为棱柱端面的面积; h 为棱柱的高
		正棱锥的侧面积 $S = \frac{1}{2} ch'$ 式中, c 为棱锥底面的周长; h' 为棱锥侧面等腰三角形底边上的高, 称为“斜高”
		正棱锥的体积 $V = \frac{1}{3} Sh$ 式中, S 为棱锥底面的面积; h 为棱锥的中心高
		棱台的含义 指用一个平行于棱锥底面的平面去截棱锥, 余下的截面与底面之间的部分称为“棱台”
		正棱台的侧面积 $S = \frac{1}{2} (c + c') h'$ 式中, c 为棱台下底面的周长; c' 为棱台上底面的周长; h' 为斜高
		正棱台的体积 $V = \frac{1}{3} h (S + \sqrt{SS'} + S')$ 式中, S 为棱台下底面的面积; S' 为棱台上底面的面积; h 为棱台的中心高
		长方体的体积 $V = l b h$ 式中, l 为长方体的长; b 为其宽; h 为其高
正方体的体积 $V = l^3$ 式中, l 为正方体的棱长(一边的长)		
4	旋 转 体	圆柱的侧面积 $S = 2\pi r h$ 式中, r 为圆柱的半径; h 为圆柱的高
		圆柱的体积 $V = Sh$ 式中, S 为圆柱底面积; h 为圆柱的高
		圆锥的侧面积 $S = \pi r l$ 式中, r 为圆锥底面半径; l 为圆锥斜边(母线)长
		圆锥的体积 $V = \frac{1}{3} Sh$ 式中, S 为圆锥底面积; h 为圆锥的高
		圆球的表面积 $S = 4\pi r^2$ 式中, r 为圆球的半径
		圆球的体积 $V = \frac{4}{3} \pi r^3$ 式中, r 为圆球的半径

(五)初等函数知识

1. 指数函数的基本性质和运算法则 如表 JC1-8 所示。

表 JC1-8 指数函数的基本性质和运算法则

序号	项 目		公 式	
1	指数函数 $y=a^x$ ($a>0, a\neq 1$) 的性质	y 的定义域	$(-\infty, +\infty)$	
		y 的值域	$(0, +\infty)$	
		$x=0$ 时	$a^x=1$	
		$a>1$ 时	$y=a^x$ 为增函数	
		$0<a<1$ 时	$y=a^x$ 为减函数	
		$a>1$	$x>0$ 时	$a^x>1$
			$x<0$ 时	$a^x<1$
		$0<a<1$	$x>0$ 时	$a^x<1$
$x<0$ 时	$a^x>1$			
2	指数函数的运算法则	同底数的指数相乘	$a^x a^y = a^{x+y}$	
		同底数的指数相除	$\frac{a^x}{a^y} = a^{x-y}$	
		指数的乘方	$(a^x)^n = a^{nx}$ (n 为正整数)	
		乘积的乘方	$(a^x b^y)^n = a^{nx} b^{ny}$ (n 为正整数)	

2. 对数函数的基本性质和运算法则 如表 JC1-9 所示。考虑到现在函数计算器的应用很普遍,因此常用函数表(包括常用对数表和三角函数表)均从略。

表 JC1-9 对数函数的基本性质和运算法则

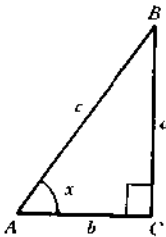
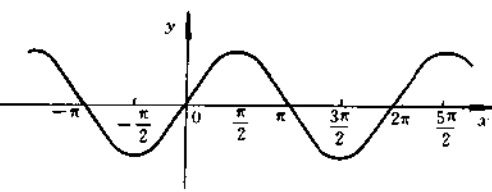
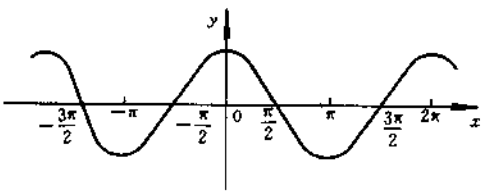
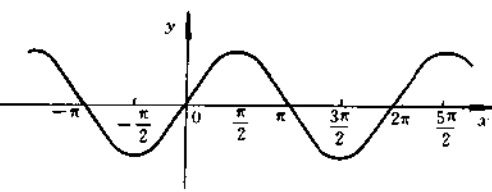
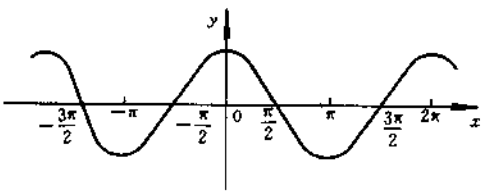
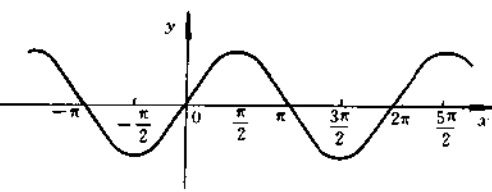
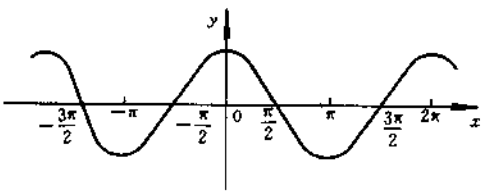
序号	项 目		公 式	
1	对数函数 $y=\log_a x$ ($a>0, a\neq 1$)的性质	y 的定义域	$(0, +\infty)$	
		y 的值域	$(-\infty, +\infty)$	
		$x=1$ 时	$\log_a x=0$	
		$x=a$ 时	$\log_a x=1$	
		$a>1$ 时	$\log_a x$ 为增函数	
		$0<a<1$ 时	$\log_a x$ 为减函数	
		$a>1$	$x>1$ 时	$\log_a x>0$
			$0<x<1$ 时	$\log_a x<0$
		$0<a<1$	$x>1$ 时	$\log_a x<0$
$0<x<1$ 时	$\log_a x>0$			

(续)

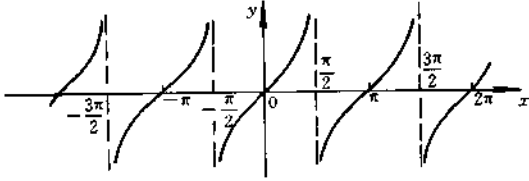
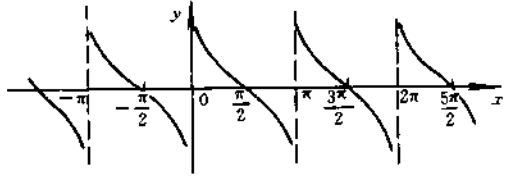
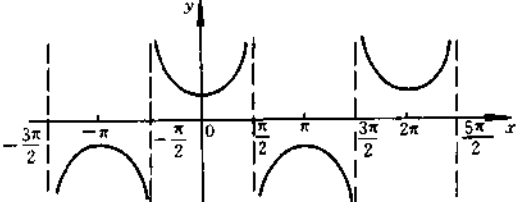
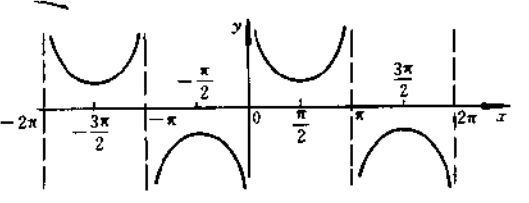
序号	项 目	公 式	
2	对数函数的运算法则	对数中的真数相乘	$\log_a(xy) = \log_a x + \log_a y$
		对数中的真数相除	$\log_a\left(\frac{x}{y}\right) = \log_a x - \log_a y$
		对数中的真数乘方	$\log_a x^n = n \log_a x$
		对数中的真数开方	$\log_a \sqrt[n]{x} = \frac{1}{n} \log_a x$ (n 为大于 1 的整数)
		对数的换底	$\log_a x = \frac{\log_b x}{\log_b a}$ $\ln x = 2.3 \lg x$

3. 三角函数的定义、图像和基本公式 如表 JC1-10 所示。

表 JC1-10 三角函数的定义、图像和基本公式

序号	项 目	公 式 或 图 像																																					
1	三角函数的定义	<table border="1"> <tr> <td rowspan="2">正弦</td> <td>定义域</td> <td rowspan="2">$\sin x = \frac{a}{c}$</td> <td>$(-\infty, +\infty)$</td> </tr> <tr> <td>值域</td> <td>$[-1, 1]$</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">余弦</td> <td>定义域</td> <td rowspan="2">$\cos x = \frac{b}{c}$</td> <td>$(-\infty, +\infty)$</td> </tr> <tr> <td>值域</td> <td>$[-1, 1]$</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">正切</td> <td>定义域</td> <td rowspan="2">$\tan x = \frac{a}{b}$</td> <td>$x \neq k\pi + \frac{\pi}{2} (k \text{ 整数})$</td> </tr> <tr> <td>值域</td> <td>$(-\infty, +\infty)$</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">余切</td> <td>定义域</td> <td rowspan="2">$\cot x = \frac{b}{a}$</td> <td>$x \neq k\pi (k \text{ 整数})$</td> </tr> <tr> <td>值域</td> <td>$(-\infty, +\infty)$</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">正割</td> <td>定义域</td> <td rowspan="2">$\sec x = \frac{c}{b}$</td> <td>$x \neq k\pi + \frac{\pi}{2} (k \text{ 整数})$</td> </tr> <tr> <td>值域</td> <td>$y \geq 1$</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">余割</td> <td>定义域</td> <td rowspan="2">$\csc x = \frac{c}{a}$</td> <td>$x \neq k\pi (k \text{ 整数})$</td> </tr> <tr> <td>值域</td> <td>$y \geq 1$</td> </tr> </table>	正弦	定义域	$\sin x = \frac{a}{c}$	$(-\infty, +\infty)$	值域	$[-1, 1]$	余弦	定义域	$\cos x = \frac{b}{c}$	$(-\infty, +\infty)$	值域	$[-1, 1]$	正切	定义域	$\tan x = \frac{a}{b}$	$x \neq k\pi + \frac{\pi}{2} (k \text{ 整数})$	值域	$(-\infty, +\infty)$	余切	定义域	$\cot x = \frac{b}{a}$	$x \neq k\pi (k \text{ 整数})$	值域	$(-\infty, +\infty)$	正割	定义域	$\sec x = \frac{c}{b}$	$x \neq k\pi + \frac{\pi}{2} (k \text{ 整数})$	值域	$ y \geq 1$	余割	定义域	$\csc x = \frac{c}{a}$	$x \neq k\pi (k \text{ 整数})$	值域	$ y \geq 1$	
		正弦		定义域		$\sin x = \frac{a}{c}$	$(-\infty, +\infty)$																																
			值域	$[-1, 1]$																																			
		余弦	定义域	$\cos x = \frac{b}{c}$	$(-\infty, +\infty)$																																		
			值域		$[-1, 1]$																																		
		正切	定义域	$\tan x = \frac{a}{b}$	$x \neq k\pi + \frac{\pi}{2} (k \text{ 整数})$																																		
			值域		$(-\infty, +\infty)$																																		
		余切	定义域	$\cot x = \frac{b}{a}$	$x \neq k\pi (k \text{ 整数})$																																		
			值域		$(-\infty, +\infty)$																																		
		正割	定义域	$\sec x = \frac{c}{b}$	$x \neq k\pi + \frac{\pi}{2} (k \text{ 整数})$																																		
			值域		$ y \geq 1$																																		
		余割	定义域	$\csc x = \frac{c}{a}$	$x \neq k\pi (k \text{ 整数})$																																		
值域	$ y \geq 1$																																						
2	三角函数的图像	<table border="1"> <tr> <td>正弦 $y = \sin x$</td> <td>  </td> </tr> <tr> <td>余弦 $y = \cos x$</td> <td>  </td> </tr> </table>	正弦 $y = \sin x$		余弦 $y = \cos x$																																		
		正弦 $y = \sin x$																																					
余弦 $y = \cos x$																																							

(续)

序号	项 目	公 式 或 图 像												
2	三角函数的图像	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="margin-bottom: 10px;"> <p>正 切 $y = \tan x$</p>  </div> <div style="margin-bottom: 10px;"> <p>余 切 $y = \cot x$</p>  </div> <div style="margin-bottom: 10px;"> <p>正 割 $y = \sec x$</p>  </div> <div> <p>余 割 $y = \csc x$</p>  </div> </div>												
	三角函数的奇偶性	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 5px;">奇函数</td> <td style="padding: 5px;">$\sin(-x) = -\sin x$</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">偶函数</td> <td style="padding: 5px;">$\cos(-x) = \cos x$</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">奇函数</td> <td style="padding: 5px;">$\tan(-x) = -\tan x$</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">奇函数</td> <td style="padding: 5px;">$\cot(-x) = -\cot x$</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">偶函数</td> <td style="padding: 5px;">$\sec(-x) = \sec x$</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">奇函数</td> <td style="padding: 5px;">$\csc(-x) = -\csc x$</td> </tr> </table>	奇函数	$\sin(-x) = -\sin x$	偶函数	$\cos(-x) = \cos x$	奇函数	$\tan(-x) = -\tan x$	奇函数	$\cot(-x) = -\cot x$	偶函数	$\sec(-x) = \sec x$	奇函数	$\csc(-x) = -\csc x$
	奇函数	$\sin(-x) = -\sin x$												
	偶函数	$\cos(-x) = \cos x$												
奇函数	$\tan(-x) = -\tan x$													
奇函数	$\cot(-x) = -\cot x$													
偶函数	$\sec(-x) = \sec x$													
奇函数	$\csc(-x) = -\csc x$													

(续)

序号	项 目	公 式 或 图 像
4	三角函数的基本定理	正弦定理 $\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C} = 2R$ 式中, a, b, c 为 $\triangle ABC$ 中 A, B, C 所对的边长; R 为 $\triangle ABC$ 的外接圆半径
		余弦定理 $a^2 = b^2 + c^2 - 2bccosA$ $b^2 = c^2 + a^2 - 2cacosB$ $c^2 = a^2 + b^2 - 2abcosC$
		正切定理 $\frac{a+b}{a-b} = \frac{\tan \frac{A+B}{2}}{\tan \frac{A-B}{2}} \quad (a \neq b)$ $\frac{b+c}{b-c} = \frac{\tan \frac{B+C}{2}}{\tan \frac{B-C}{2}} \quad (b \neq c)$ $\frac{c+a}{c-a} = \frac{\tan \frac{C+A}{2}}{\tan \frac{C-A}{2}} \quad (c \neq a)$
		余切定理 $\cot A = \frac{c - a \cos B}{a \sin B},$ $\cot B = \frac{a - b \cos C}{b \sin C},$ $\cot C = \frac{b - c \cos A}{c \sin A}$
5	三角函数间的基本关系	倒数关系 $\sin \alpha \csc \alpha = 1,$ $\cos \alpha \sec \alpha = 1,$ $\tan \alpha \cot \alpha = 1$
		商数关系 $\tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha},$ $\cot \alpha = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}$
		二次方关系 $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1,$ $1 + \tan^2 \alpha = \sec^2 \alpha,$ $1 + \cot^2 \alpha = \csc^2 \alpha$
6	两角和差的三角函数公式	$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta$ $\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta$ $\tan(\alpha \pm \beta) = \frac{\tan \alpha \pm \tan \beta}{1 \mp \tan \alpha \tan \beta}$ $\cot(\alpha \pm \beta) = \frac{\cot \alpha \cot \beta \mp 1}{\cot \beta \pm \cot \alpha}$

(续)

序号	项 目	公 式 或 图 像
7	三角函数倍角公式	$\sin 2\alpha = 2\sin\alpha\cos\alpha$ $\cos 2\alpha = \cos^2\alpha - \sin^2\alpha = 1 - 2\sin^2\alpha = 2\cos^2\alpha - 1$ $\tan 2\alpha = \frac{2\tan\alpha}{1 - \tan^2\alpha}$ $\cot 2\alpha = \frac{\cot^2\alpha - 1}{2\cot\alpha}$
8	三角函数半角公式	$\sin \frac{\alpha}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 - \cos\alpha}{2}}$ $\cos \frac{\alpha}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 + \cos\alpha}{2}}$ $\tan \frac{\alpha}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 - \cos\alpha}{1 + \cos\alpha}} = \frac{\sin\alpha}{1 + \cos\alpha} = \frac{1 - \cos\alpha}{\sin\alpha}$ $\cot \frac{\alpha}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 + \cos\alpha}{1 - \cos\alpha}} = \frac{\sin\alpha}{1 - \cos\alpha} = \frac{1 + \cos\alpha}{\sin\alpha}$
9	三角函数和差化积公式	$\sin\alpha + \sin\beta = 2\sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$ $\sin\alpha - \sin\beta = 2\cos \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$ $\cos\alpha + \cos\beta = 2\cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$ $\cos\alpha - \cos\beta = -2\sin \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\alpha - \beta}{2} = 2\sin \frac{\alpha + \beta}{2} \sin \frac{\beta - \alpha}{2}$ $\tan\alpha + \tan\beta = \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos\alpha\cos\beta}$ $\tan\alpha - \tan\beta = \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\cos\alpha\cos\beta}$ $\cot\alpha + \cot\beta = \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin\alpha\sin\beta}$ $\cot\alpha - \cot\beta = \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin\alpha\sin\beta}$
10	三角函数积化和差公式	$\sin\alpha\cos\beta = \frac{1}{2}[\sin(\alpha + \beta) + \sin(\alpha - \beta)]$ $\cos\alpha\sin\beta = \frac{1}{2}[\sin(\alpha + \beta) - \sin(\alpha - \beta)]$ $\cos\alpha\cos\beta = \frac{1}{2}[\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)]$ $\sin\alpha\sin\beta = \frac{1}{2}[\cos(\alpha + \beta) - \cos(\alpha - \beta)]$ $\sin(\alpha + \beta)\sin(\alpha - \beta) = \sin^2\alpha - \sin^2\beta$ $\cos(\alpha + \beta)\cos(\alpha - \beta) = \cos^2\alpha - \sin^2\beta$

(续)

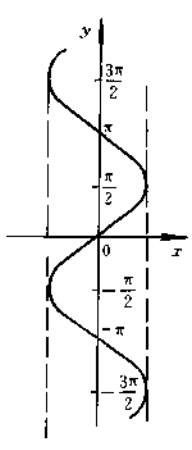
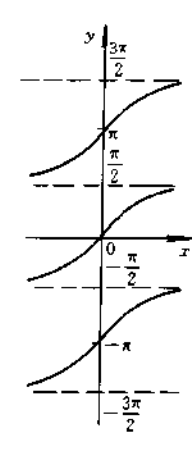
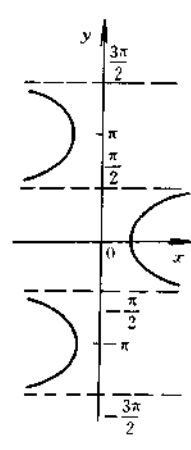
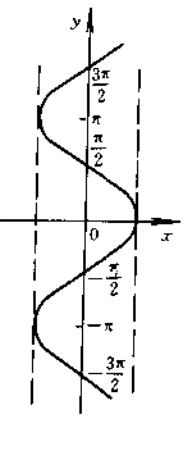
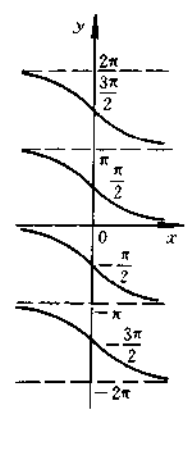
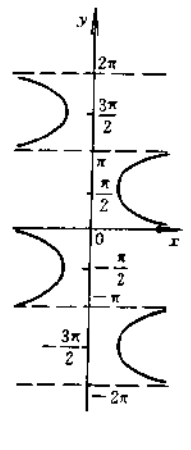
序号	项 目		公 式 或 图 像
11	三角函数 角的简化 公式	90°±α	$\sin(90^\circ \pm \alpha) = \cos \alpha,$ $\cos(90^\circ \pm \alpha) = \mp \sin \alpha$ $\tan(90^\circ \pm \alpha) = \mp \cot \alpha,$ $\cot(90^\circ \pm \alpha) = \mp \tan \alpha$ $\sec(90^\circ \pm \alpha) = \mp \csc \alpha,$ $\csc(90^\circ \pm \alpha) = \sec \alpha$
		180°±α	$\sin(180^\circ \pm \alpha) = \mp \sin \alpha,$ $\cos(180^\circ \pm \alpha) = -\cos \alpha$ $\tan(180^\circ \pm \alpha) = \pm \tan \alpha,$ $\cot(180^\circ \pm \alpha) = \pm \cot \alpha$ $\sec(180^\circ \pm \alpha) = -\sec \alpha,$ $\csc(180^\circ \pm \alpha) = \mp \csc \alpha$
		270°±α	$\sin(270^\circ \pm \alpha) = -\cos \alpha,$ $\cos(270^\circ \pm \alpha) = \pm \sin \alpha$ $\tan(270^\circ \pm \alpha) = \mp \cot \alpha,$ $\cot(270^\circ \pm \alpha) = \mp \tan \alpha$ $\sec(270^\circ \pm \alpha) = \pm \csc \alpha,$ $\csc(270^\circ \pm \alpha) = -\sec \alpha$
		360°±α	$\sin(360^\circ \pm \alpha) = \pm \sin \alpha,$ $\cos(360^\circ \pm \alpha) = \cos \alpha$ $\tan(360^\circ \pm \alpha) = \pm \tan \alpha,$ $\cot(360^\circ \pm \alpha) = \pm \cot \alpha$ $\sec(360^\circ \pm \alpha) = \sec \alpha,$ $\csc(360^\circ \pm \alpha) = \pm \csc \alpha$
12	欧拉(Euler)公式		$e^{j\alpha} = \cos \alpha + j \sin \alpha, \quad \sin \alpha = \frac{e^{j\alpha} - e^{-j\alpha}}{2j}$ $e^{-j\alpha} = \cos \alpha - j \sin \alpha, \quad \cos \alpha = \frac{e^{j\alpha} + e^{-j\alpha}}{2}$

4. 反三角函数的定义、图像和基本公式 如表 JC1-11 所示。

表 JC1-11 反三角函数的定义、图像和基本公式

序号	项 目		公 式 或 图 像
1	反正弦	定义域	$[-1, 1]$
		值 域	$[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}]$
	反余弦	定义域	$[-1, 1]$
		值 域	$[0, \pi]$
	反正切	定义域	$(-\infty, +\infty)$
		值 域	$(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2})$

(续)

序号	项目		公式或图像				
1	反三角函数的定义	反余切	定义域	$y = \operatorname{arccot} x$	$(-\infty, +\infty)$		
		值域	$(0, \pi)$				
		反正割	定义域	$y = \operatorname{arcsec} x$	$|x| \geq 1$		
			值域		$\left(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right)$		
		反余割	定义域	$y = \operatorname{arccsc} x$	$|x| \geq 1$		
			值域		$(0, \pi)$		
2	反三角函数的图像	反正弦 $y = \arcsin x$	反正切 $y = \arctan x$	反正割 $y = \operatorname{arcsec} x$			
		反余弦 $y = \arccos x$	反余切 $y = \operatorname{arccot} x$	反余割 $y = \operatorname{arccsc} x$			

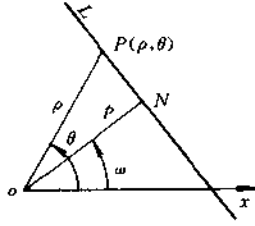
序号	项 目	公 式 或 图 像	
3	反三角函数的正弦	$\sin(\arcsin x) = x \quad (|x| \leq 1)$ $\sin(\arccos x) = \sqrt{1-x^2} \quad (|x| \leq 1)$ $\sin(\arctan x) = \frac{x}{\sqrt{1+x^2}}$ $\sin(\operatorname{arccot} x) = \frac{1}{\sqrt{1+x^2}}$	
4	反三角函数的余弦	$\cos(\arcsin x) = \sqrt{1-x^2} \quad (|x| \leq 1)$ $\cos(\arccos x) = x \quad (|x| \leq 1)$ $\cos(\arctan x) = \frac{1}{\sqrt{1+x^2}}$ $\cos(\operatorname{arccot} x) = \frac{x}{\sqrt{1+x^2}}$	
5	反三角函数的正切	$\tan(\arcsin x) = \frac{x}{\sqrt{1-x^2}} \quad (|x| \leq 1)$ $\tan(\arccos x) = \frac{\sqrt{1-x^2}}{x} \quad (|x| \leq 1)$ $\tan(\arctan x) = x$ $\tan(\operatorname{arccot} x) = \frac{1}{x}$	
6	反三角函数的余切	$\cot(\arcsin x) = \frac{\sqrt{1-x^2}}{x} \quad (|x| \leq 1)$ $\cot(\arccos x) = \frac{x}{\sqrt{1-x^2}} \quad (|x| \leq 1)$ $\cot(\arctan x) = \frac{1}{x}$ $\cot(\operatorname{arccot} x) = x$	
7	反三角函数 间的关系	反角或互 为补角	$\arcsin(-x) = -\arcsin x$ $\arccos(-x) = \pi - \arccos x$ $\arctan(-x) = -\arctan x$ $\operatorname{arccot}(-x) = \pi - \operatorname{arccot} x$
		互为余角	$\arcsin x + \arccos x = \frac{\pi}{2}$ $\arctan x + \operatorname{arccot} x = \frac{\pi}{2}$

(六) 解析几何知识

1. 直线的概念和方程 如表 JC1-12 所示。

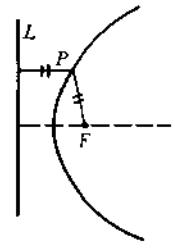
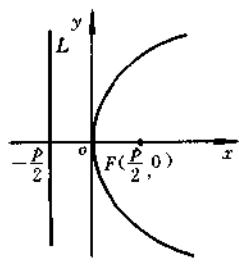
表 JC1-12 直线的概念和方程

序号	项目	公式或图例
1	直线的概念	<p>一点在平面上或空间中沿一定方向及其相反方向运动的轨迹,称为直线 两点之间以直线距离最短。两点 $P_1(x_1, y_1), P_2(x_2, y_2)$ 间的距离为</p> $d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$
2	平面上直线的斜率公式	<p>① $k = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$ ② $k = \tan \alpha$</p> <p>式中, α 为直线向上方向与 x 轴正方向所成的最小正角, 亦即直线的倾斜角</p>
3	平面上直线的一般方程	$Ax + By + C = 0$ <p>式中, A, B, C 为任意实数, 且 A, B 不同时为零</p>
4	平面上直线的截斜式方程	$y = kx + b$ <p>式中, k 为直线的斜率, b 为直线在 y 轴上的截距</p>
5	平面上直线的截距式方程	$\frac{x}{a} + \frac{y}{b} = 1 \quad (a \neq 0, b \neq 0)$ <p>式中, a, b 分别为直线在 x 轴和 y 轴上的截距</p>
6	平面上直线的点斜式方程	$y - y_0 = k(x - x_0)$ <p>式中, (x_0, y_0) 为直线经过的定点的直角坐标, k 为直线斜率</p>
7	平面上直线的两点式方程	$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$ <p>式中, (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) 为直线所经过的不重合的两已知点的直角坐标</p>

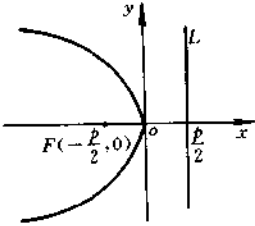
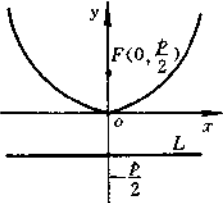
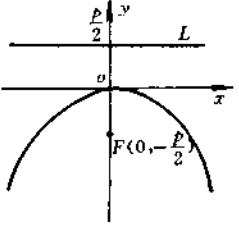
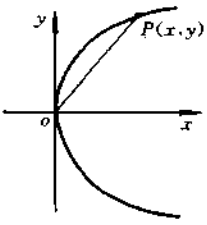
序号	项目	公式或图像
8	平面上直线的参数方程	$\textcircled{1} \begin{cases} x = x_1 + t \cos \alpha \\ y = y_1 + t \sin \alpha \end{cases}$ $\textcircled{2} \begin{cases} x = x_1 + at \\ y = y_1 + bt \end{cases}$ <p>式中, t 为引入的参数; α 为直线的倾斜角; a, b 分别为直线在 x 轴和 y 轴上的截距</p>
9	平面上直线的极坐标方程	$\rho \cos(\theta - \omega) = p$ <p>式中, (ρ, θ) 为直线经过的定点的极坐标; ω 为垂直于直线的法线倾斜角; p 为法线长度</p> 
10	空间中直线的一般方程	<p>如果通过直线 L 的两个不重合的平面方程为</p> $\begin{cases} A_1x + B_1y + C_1z + D_1 = 0 \\ A_2x + B_2y + C_2z + D_2 = 0 \end{cases}$ <p>则上列方程组也就是该直线 L 的一般方程。其中 $A_1 : B_1 : C_1 \neq A_2 : B_2 : C_2$</p>

2. 抛物线的概念和方程 如表 JC1-13 所示。

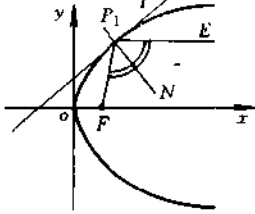
表 JC1-13 抛物线的概念和方程

序号	项目	公式或图像
1	抛物线的概念	<p>如果平面上的动点(P点)到定点(F点)与到定直线(L)的距离相等, 则此动点的轨迹就称为抛物线。此定点, 称为抛物线的焦点; 此定直线, 称为抛物线的准线</p> 
2	抛物线的标准方程 焦点在 x 轴, 顶点在原点, 向右开口	$\textcircled{1} y^2 = 2px$ <p>($p > 0$)</p> 

(续)

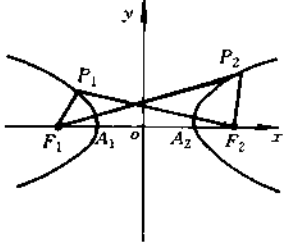
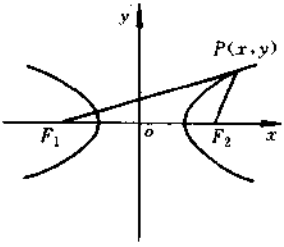
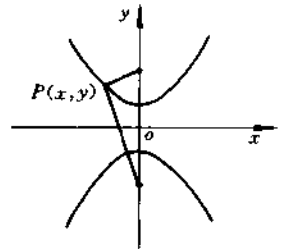
序号	项目	公式或图像
2	抛物线的标准方程 焦点在 x 轴， 顶点在原点，向 左开口	$\textcircled{2} \quad y^2 = -2px$ $(p > 0)$ 
	焦点在 y 轴， 顶点在原点，向 上开口	$\textcircled{3} \quad x^2 = 2py$ $(p > 0)$ 
	焦点在 y 轴， 顶点在原点，向 下开口	$\textcircled{4} \quad x^2 = -2py$ $(p > 0)$ 
3	抛物线的参数方程	<p> 对应于抛物线标准方程 $y^2 = 2px$ 的参数方程为 </p> $\begin{cases} x = 2pt^2 \\ y = 2pt \end{cases}$ <p> 式中 t 为参数，t 表示该抛物线上的 P 点与顶点 o 所连成的割线的斜率的倒数 </p> 

(续)

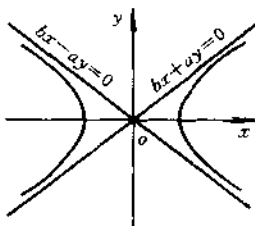
序号	项目	公式或图像
4	抛物线的法线及其性质	<p>过抛物线上任一点 P_1, 作垂直于过该点切线 T 的垂线 N, 这垂线 N 就称为抛物线在该点的法线</p> <p>过 P_1 点作平行于抛物线对称轴的 P_1E 线, 则法线 P_1N 平分此平行线 P_1E 与该点的焦半径 P_1F 的夹角, 即</p> $\angle FP_1N = \angle NP_1E$ <p>由抛物线的这一性质可知, 如果有平行于对称轴的光线投射抛物型镜面, 则所有平行光线均将聚焦于抛物型镜面的焦点。反之, 如果在焦点置一“点光源”, 则通过抛物型镜面能反射出一束平行于对称轴的均匀光线</p> 

3. 双曲线的概念和方程 如表 JC1-14 所示。

表 JC1-14 双曲线的概念和方程

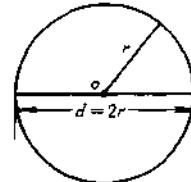
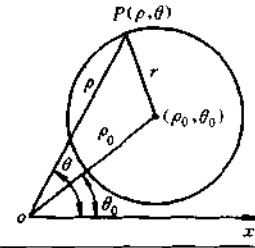
序号	项目	公式或图像
1	双曲线的概念	<p>如果平面内的动点到两定点的距离之差等于定长 (小于两定点间距离且不为零), 则动点的轨迹就称为双曲线。这两个定点, 称为双曲线的焦点。两焦点间的距离, 称为双曲线的焦距。双曲线的对称中心, 称为双曲线中心。两顶点 A_1, A_2 间的线段, 称为双曲线实轴</p> 
2	中心在原点 o , 焦点 F_1, F_2 在 x 轴上	$\textcircled{1} \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$ <p>式中, $a > 0, b > 0, c = \sqrt{a^2 + b^2}$</p> 
	中心在原点 o , 焦点 F_1, F_2 在 y 轴上	$\textcircled{2} -\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ <p>式中, $a > 0, b > 0, c = \sqrt{a^2 + b^2}$</p> 

(续)

序号	项目	公式或图像
3	双曲线的参数方程	对应于双曲线标准方程 $\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$ 的参数方程为 $\begin{cases} x = a \sec \theta \\ y = b \tan \theta \end{cases} \quad (0 \leq \theta < 2\pi)$
4	双曲线的渐近线方程	双曲线 $\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$ 的两条交叉的渐近线方程为 $\begin{aligned} bx + ay &= 0 \\ bx - ay &= 0 \end{aligned}$ 

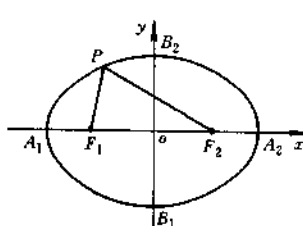
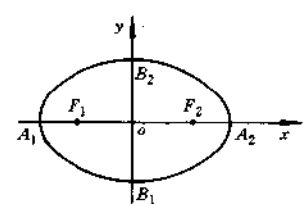
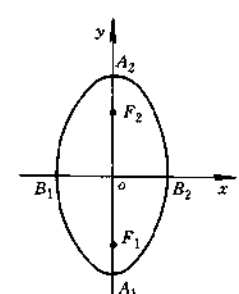
4. 圆的概念和方程 如表 JC1-15 所示。

表 JC1-15 圆的概念和方程

序号	项目	公式或图像
1	圆的概念	在平面上与定点保持定距离的动点的轨迹,称为圆周,简称圆。这定点称为圆心。这定距离称为半径 
2	圆的标准方程	圆心在原点 $x^2 + y^2 = r^2$ 式中, r 为圆的半径
		圆心坐标为 (x_0, y_0) $(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = r^2$ 式中, r 为圆的半径
3	圆的一般方程	$x^2 + y^2 + Dx + Ey + F = 0$ 式中, 圆心坐标为 $(-\frac{D}{2}, -\frac{E}{2})$, 半径为 $r = \frac{1}{2} \sqrt{D^2 + E^2 - 4F}$
4	圆的参数方程(圆心在原点)	$\begin{cases} x = a \cos \theta \\ y = b \sin \theta \end{cases} \quad (0 \leq \theta < 2\pi)$
5	圆的极坐标方程(r 为圆的半径)	圆心在极点 $\rho = r$
		圆心坐标为 (ρ_0, θ_0) $\rho^2 + \rho_0^2 - 2\rho\rho_0 \cos(\theta - \theta_0) = r^2$ 
		圆心坐标为 $(r, 0)$ $\rho = 2r \cos \theta$
	圆心坐标为 $(r, \frac{\pi}{2})$	$\rho = 2r \sin \theta$

5. 椭圆的概念和方程 如表 JC1-16 所示。

表 JC1-16 椭圆的概念和方程

序号	项目	公式或图像
1	椭圆的概念	<p>如果平面内的动点到两定点的距离之和等于定长,则此动点的轨迹就称为椭圆。这两定点称为椭圆的焦点。两焦点间距离,称为椭圆的焦距。椭圆的对称中心,称为椭圆中心。通过中心和两焦点的两顶点 A_1, A_2 之间的线段,称为椭圆的长轴。而通过中心垂直于长轴的两顶点 B_1, B_2 之间的线段,称为椭圆的短轴</p> 
2	<p>中心在原点 o, 焦点 F_1, F_2 在 x 轴上</p>	<p>① $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ 式中, $a > b > 0, c = \sqrt{a^2 - b^2}$</p> 
	<p>中心在原点 o, 焦点 F_1, F_2 在 y 轴上</p>	<p>② $\frac{x^2}{b^2} + \frac{y^2}{a^2} = 1$ 式中, $a > b > 0, c = \sqrt{a^2 - b^2}$</p> 
3	椭圆的参数方程	<p>对应于椭圆标准方程 $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ 的参数方程为 $\begin{cases} x = a \cos \theta \\ y = b \sin \theta \end{cases} (0 \leq \theta < 2\pi)$</p>

6. 直角坐标与极坐标的互换 如表 JC1-17 所示。

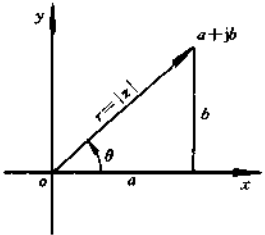
表 JC1-17 直角坐标与极坐标的互换

序号	项 目	公 式
1	直角坐标变换为极坐标	$\rho = \sqrt{x^2 + y^2}$ $\theta = \arctan \frac{y}{x}$
2	极坐标变换为直角坐标	$x = \rho \cos \theta$ $y = \rho \sin \theta$

(七) 复数知识

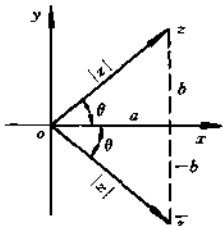
1. 复数的形式和运算法则 如表 JC1-18 所示。

表 JC1-18 复数的形式和运算法则

序号	项 目	公 式
1	代数表达式	$z = a + jb$
	三角表达式	$z = r(\cos \theta + j \sin \theta)$
	指数表达式	$z = r e^{j\theta} = |z| e^{j\theta}$
	矢量图及换算公式	$a = r \cos \theta$ $b = r \sin \theta$ $r = \sqrt{a^2 + b^2} = |z|$ $\theta = \arctan \frac{b}{a}$ <p>式中, a 为实部; b 为虚部; |z| 为模; θ 为辐角</p> 
2	复数加减	<p>将复数统一化为代数表达式后, 再进行加减运算</p> <p>设 $z_1 = a_1 + jb_1, z_2 = a_2 + jb_2$</p> <p>则 $z = z_1 \pm z_2 = (a_1 \pm a_2) + j(b_1 \pm b_2) = a + jb$</p>
	复数相乘	<p>将复数统一化为指数表达式后, 再进行相乘运算</p> <p>设 $z_1 = r_1 e^{j\theta_1}, z_2 = r_2 e^{j\theta_2}$</p> <p>则 $z = z_1 z_2 = r_1 r_2 e^{j(\theta_1 + \theta_2)} = r e^{j\theta}$</p>
	复数相除	<p>将复数统一化为指数表达式后, 再进行相除运算</p> <p>设 $z_1 = r_1 e^{j\theta_1}, z_2 = r_2 e^{j\theta_2}$</p> <p>则 $z = \frac{z_1}{z_2} = \frac{r_1}{r_2} e^{j(\theta_1 - \theta_2)}$</p>

2. 共轭复数的性质 如表 JC1-19 所示。

表 JC1-19 共轭复数的性质

序号	项 目	公 式
1	共轭复数的对偶性	$z = a + jb = |z|e^{j\theta}$ $\bar{z} = a - jb = |z|e^{-j\theta}$ 
2	共轭复数相加	$z + \bar{z} = 2\text{Re}z = 2a$
3	共轭复数相减	$z - \bar{z} = 2j\text{Im}z = 2jb$
4	共轭复数相乘	$z\bar{z} = [\text{Re}z]^2 + [\text{Im}z]^2 = a^2 + b^2$
5	共轭复数相除	$\frac{z}{z} = \frac{z^2}{z\bar{z}} = \frac{(a^2 - b^2) + j2ab}{a^2 + b^2}$ $\frac{\bar{z}}{z} = \frac{\bar{z}^2}{z\bar{z}} = \frac{(a^2 + b^2) - j2ab}{a^2 + b^2}$
6	复数加减乘除的共轭复数	$\overline{z_1 \pm z_2} = \bar{z}_1 \pm \bar{z}_2,$ $\overline{z_1 z_2} = \bar{z}_1 \bar{z}_2,$ $\overline{\left(\frac{z_1}{z_2}\right)} = \frac{\bar{z}_1}{\bar{z}_2}$
7	共轭复数的共轭复数	$\overline{\bar{z}} = z$

(八) 微积分知识

1. 导数和微分的几何意义及其应用示例 如表 JC1-20 所示。

表 JC1-20 导数和微分的几何意义及应用示例

序号	类别	几 何 意 义	应 用 示 例
1	导数	导数 $f'(x)$ 表征函数 $y=f(x)$ 所示曲线在点 x 的切线的斜率	判定函数极值, 当函数 $f(x)$ 在点 x_0 的导数 $f'(x_0)=0$ 时, $f(x)$ 在 x_0 点可出现极值。当其二阶导数 $f''(x_0)<0$ 时, $f(x_0)$ 为极大值。当 $f''(x_0)>0$ 时, $f(x_0)$ 为极小值
2	微分	微分 dy 表征函数 $y=f(x)$ 所示曲线在点 (x, y) 对应于横坐标改变量 Δx 的纵坐标改变量	估计间接测量误差, 例如用电流表间接测量电阻 R 上消耗的电功率 $P=I^2R$, 已知电流表读数为 I , 电流测量误差为 δI , 因此功率测量误差为 $\delta P = \left| \frac{dP}{dI} \right| \delta I = |2IR| \delta I$ 其相对误差则为 $\delta P/|P|$

2. 导数的基本公式和运算法则 如表 JC1-21 所示。

表 JC1-21 导数的基本公式和运算法则

序号	项目	公 式	序号	项目	公 式		
1	基 本 求 导 公 式	① $(C)' = 0$	7	和差求导	$(u \pm v)' = u' \pm v'$		
2		② $(x^n)' = nx^{n-1}$					
3		三角函数	③ $(\sin x)' = \cos x$	8	相乘求导	$(uv)' = uv' + u'v$ $(Cu)' = Cu'$ (C为常数)	
			④ $(\cos x)' = -\sin x$				
			⑤ $(\tan x)' = \frac{1}{\cos^2 x} = \sec^2 x$				
			⑥ $(\cot x)' = -\frac{1}{\sin^2 x} = -\csc^2 x$				
4		指数	⑦ $(a^x)' = a^x \ln a$	常 用 求 导 法 则	9	相除求导	
			⑧ $(e^x)' = e^x$				$\left(\frac{u}{v}\right)' = \frac{u'v - uv'}{v^2}$ ($v \neq 0$)
5		对数	⑨ $(\log_a x)' = \frac{1}{x \ln a}$		10	反函数求导		$x'_y = \frac{1}{y'_x}$, 即 $\frac{dy}{dx} = \frac{1}{\frac{dx}{dy}}$ 这里 $y$ 为 $x$ 的函数, $x$ 为 $y$ 的反函数
			⑩ $(\ln x)' = \frac{1}{x}$				
6		反三角函数	⑪ $(\arcsin x)' = \frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$ ($-1 < x < 1$)		11	复合函 数求导	即 $y'_x = y'_u u'_x$ $\frac{dy}{dx} = \frac{dy}{du} \frac{du}{dx}$ 这里 $y = f(u)$, $u = g(x)$
			⑫ $(\arccos x)' = -\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}$ ($-1 < x < 1$)				
	⑬ $(\arctan x)' = \frac{1}{1+x^2}$ ($-\infty < x < +\infty$)						
	⑭ $(\text{arccot } x)' = -\frac{1}{1+x^2}$ ($-\infty < x < +\infty$)						
			12		参数式求导	$y'_x = \frac{y'_t}{x'_t}$, 即 $\frac{dy}{dx} = \frac{\frac{dy}{dt}}{\frac{dx}{dt}}$ 这里 $x = f(t)$, $y = g(t)$	

3. 微分的基本公式和运算法则 如表 JC1-22 所示。

表 JC1-22 微分的基本公式和运算法则

序号	项目	公 式	序号	项目	公 式	
1	基 本 微 分 公 式	① $d(C) = 0$	6	反三角 函数	① $d(\arcsin x) = \frac{dx}{\sqrt{1-x^2}}$ ② $d(\arccos x) = -\frac{dx}{\sqrt{1-x^2}}$ ③ $d(\arctan x) = \frac{dx}{1+x^2}$ ④ $d(\text{arccot } x) = -\frac{dx}{1+x^2}$	
2		② $d(x^n) = nx^{n-1} dx$				
3		三角函数				③ $d(\sin x) = \cos x dx$
						④ $d(\cos x) = -\sin x dx$
			⑤ $d(\tan x) = \frac{dx}{\cos^2 x} = \sec^2 x dx$			
			⑥ $d(\cot x) = -\frac{dx}{\sin^2 x} = -\csc^2 x dx$			
4		指数	⑦ $d(a^x) = a^x \ln a dx$	7	和差微分	$d(u \pm v) = du \pm dv$
			⑧ $d(e^x) = e^x dx$			
5		对数	⑨ $d(\log_a x) = \frac{dx}{x \ln a}$	8	相乘微分	$d(uv) = u dv + v du$ $d(Cu) = C du$ (C为常数)
			⑩ $d(\ln x) = \frac{dx}{x}$			
				9	相除微分	$d\left(\frac{u}{v}\right) = \frac{v du - u dv}{v^2}$ ($v \neq 0$)

4. 不定积分的基本性质 如表 JC1-23 所示。

表 JC1-23 不定积分的基本性质

序号	性 质	公 式
1	不定积分的导数等于被积函数	$(\int f(x)dx)' = \frac{d}{dx} [\int f(x)dx] = f(x)$
2	不定积分的微分等于被积表达式	$d\int f(x)dx = f(x)dx$
3	函数 $F(x)$ 的微分的不定积分等于函数 $F(x)$ 加一任意常数	$\int dF(x) = F(x) + C$ 或 $\int F'(x)dx = F(x) + C$
4	函数和差的不定积分等于各个函数的不定积分的和差	$\int [f(x) \pm g(x)]dx = \int f(x)dx \pm \int g(x)dx$
5	被积函数的常数因子可以提到积分号前	$\int kf(x)dx = k\int f(x)dx$ (k 为常数)

5. 不定积分的基本公式和运算法则 如表 JC1-24 所示。

表 JC1-24 不定积分的基本公式和运算法则

序号	项 目	公 式
1	常 数	① $\int dx = x + C$ ② $\int kdx = kx + C$ (k 为常数)
2	乘 方	③ $\int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} + C$ ($n \neq -1$)
3	基 本 积 分 公 式 倒 数	④ $\int \frac{1}{x} dx = \ln|x| + C$ ⑤ $\int \frac{1}{a^2 + x^2} dx = \frac{1}{a} \arctan \frac{x}{a} + C$ ⑥ $\int \frac{1}{1 + x^2} dx = \arctan x + C$ ⑦ $\int \frac{1}{\sqrt{a^2 - x^2}} dx = \arcsin \frac{x}{a} + C$ ⑧ $\int \frac{1}{\sqrt{1 - x^2}} dx = \arcsin x + C$ ⑨ $\int \frac{1}{x^2 - a^2} dx = \frac{1}{2a} \ln \left| \frac{x-a}{x+a} \right| + C$ ⑩ $\int \frac{1}{\sqrt{x^2 \pm a^2}} dx = \ln \left| x + \sqrt{x^2 \pm a^2} \right| + C$
4	三角函数	⑪ $\int \sin x dx = -\cos x + C$ ⑫ $\int \cos x dx = \sin x + C$ ⑬ $\int \tan x dx = -\ln|\cos x| + C$ ⑭ $\int \cot x dx = \ln|\sin x| + C$ ⑮ $\int \sec x dx = \int \frac{1}{\cos x} dx = \ln|\sec x + \tan x| + C = \ln \tan \left(\frac{x}{2} + \frac{\pi}{4} \right) + C$

(续)

序号	项 目	公 式
4	基 本 积 分 公 式 三角函数	$\textcircled{16} \int \csc x dx = \int \frac{1}{\sin x} dx = \ln(\csc x - \cot x) + C = \ln \tan \frac{x}{2} + C$ $\textcircled{17} \int \sec^2 x dx = \tan x + C$ $\textcircled{18} \int \csc^2 x dx = -\cot x + C$ $\textcircled{19} \int \sec x \tan x dx = \sec x + C$ $\textcircled{20} \int \csc x \cot x dx = -\csc x + C$ $\textcircled{21} \int \sin^2 x dx = \frac{x}{2} - \frac{1}{4} \sin 2x + C$ $\textcircled{22} \int \cos^2 x dx = \frac{x}{2} + \frac{1}{4} \sin 2x + C$
5	指 数	$\textcircled{23} \int a^x dx = \frac{1}{\ln a} a^x + C$ $\textcircled{24} \int e^x dx = e^x + C$ $\textcircled{25} \int e^{ax} dx = \frac{e^{ax}}{a} + C$
6	不 定 积 分 的 换 元 积 分 法	<p>设 $f(u)$ 具有原函数 $F(u)$, $u = \varphi(x)$ 可导, 则 $F[\varphi(x)]$ 是 $f[\varphi(x)]\varphi'(x)$ 的原函数, 即有下列换元公式</p> $\int f[\varphi(x)]\varphi'(x) dx = F[\varphi(x)] + C = \left[\int f(u) du \right]_{u=\varphi(x)}$ <p>例 求 $\int 2\cos 2x dx$</p> <p>解 设 $u = 2x$, 则 $\cos 2x = \cos u, du = 2dx$, 因此</p> $\int 2\cos 2x dx = \int \cos u du = \sin u + C = \sin 2x + C$
7	运 算 法 则 分 部 积 分 法	<p>设函数 $u = u(x)$ 及 $v = v(x)$ 均具有连续导数, 则有下列分部积分公式</p> $\int u dv = uv - \int v du$ <p>例 求 $\int x \ln x dx$</p> <p>解 设 $u = \ln x, dv = x dx$, 则 $du = \frac{1}{x} dx, v = \frac{x^2}{2}$, 因此利用分部积分公式得</p> $\int x \ln x dx = \frac{x^2}{2} \ln x - \frac{1}{2} \int x dx = \frac{x^2}{2} \ln x - \frac{x^2}{4} + C$

6. 定积分的基本性质 如表 JC1-25 所示。

表 JC1-25 定积分的基本性质

序号	性 质	公 式
1	定积分的上下限互换时其积分值反号	$\int_a^b f(x)dx = -\int_b^a f(x)dx$
2	被积函数的常数因子可以提到积分号前	$\int_a^b kf(x)dx = k\int_a^b f(x)dx$ (k 为常数)
3	如果在区间[a,b]上函数 $f(x)=k$ (常数),则它在此区间的定积分为 $k(b-a)$	$\int_a^b kdx = k(b-a)$
4	如果将积分区间分成两部分,则定积分等于这两部分区间上定积分之和	$\int_a^b f(x)dx = \int_a^c f(x)dx + \int_c^b f(x)dx$ ($a < c < b$)
5	函数的和、差的定积分等于所有函数定积分的和、差	$\int_a^b [f(x) \pm g(x)]dx = \int_a^b f(x)dx \pm \int_a^b g(x)dx$

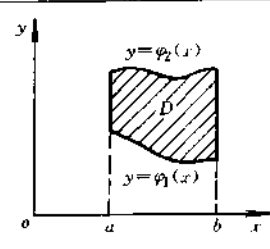
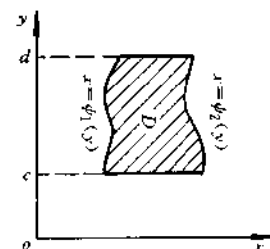
7. 定积分的基本公式和运算法则 如表 JC1-26 所示。

表 JC1-26 定积分的基本公式和运算法则

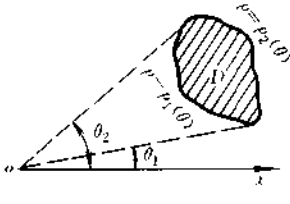
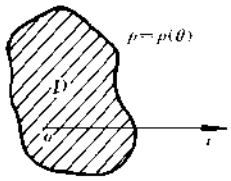
序号	项 目	公 式
1	定积分的基本公式 (牛顿-莱布尼兹公式)	<p>设 $f(x)$ 是区间 $[a, b]$ 上的连续函数, $F(x)$ 是 $f(x)$ 在区间 $[a, b]$ 上的一个原函数, 则</p> $\int_a^b f(x)dx = F(x) \Big|_a^b = F(b) - F(a)$
2	定积分的 换元积分法	<p>设函数 $\varphi(x)$ 在区间 $[a, b]$ 上有连续导数 $\varphi'(x)$, 同时函数 $f(u)$ 在区间 $[\varphi(a), \varphi(b)]$ 上连续, 并且 u 从 $\varphi(a)$ 单调地变到 $\varphi(b)$, 则定积分换元公式为</p> $\int_a^b f[\varphi(x)]\varphi'(x)dx = \int_{\varphi(a)}^{\varphi(b)} f(u)du$ <p>例 计算 $\int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^5 x \sin x dx$</p> <p>解 设 $u = \cos x$, 则 $du = -\sin x dx$, 且当 $x = 0$ 时, $u = 1$, 当 $x = \frac{\pi}{2}$ 时, $u = 0$, 因此</p> $\int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^5 x \sin x dx = -\int_1^0 u^5 du = \int_0^1 u^5 du = \frac{u^6}{6} \Big|_0^1 = \frac{1}{6}$
3	运 算 法 则 分部积分法	<p>设函数 $u(x), v(x)$ 在区间 $[a, b]$ 上有连续导数 $u'(x), v'(x)$, 则有分部积分公式</p> $\int_a^b u dv = uv \Big|_a^b - \int_a^b v du$ <p>例 计算 $\int_0^{\frac{\pi}{2}} x \sin x dx$</p> <p>解 设 $u = x, dv = \sin x dx$, 则 $v = -\cos x$, 因此</p> $\int_0^{\frac{\pi}{2}} x \sin x dx = \int_0^{\frac{\pi}{2}} u dv = uv \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} - \int_0^{\frac{\pi}{2}} v du = -x \cos x \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} + \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos x dx = 0 + \sin x \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} = 1$

8. 重积分的基本性质和运算法则 如表 JC1-27 所示。由于供电工程中运用重积分的情况不多,这里仅简介二重积分的基本知识。

表 JC1-27 重积分的基本性质和运算法则

序号	项 目		公 式
1	重 积 分	含常数因子的 重积分	$\iint_D kf(x,y)d\sigma = k \iint_D f(x,y)d\sigma$ 式中, k 为常数; $d\sigma$ 为面积元素
2	的	函数和差的 重积分	$\iint_D [f(x,y) \pm g(x,y)]d\sigma = \iint_D f(x,y)d\sigma \pm \iint_D g(x,y)d\sigma$
3	基 本 性 质	多区间的逐项 重积分	$\iint_D f(x,y)d\sigma = \iint_{D_1} f(x,y)d\sigma + \iint_{D_2} f(x,y)d\sigma + \dots + \iint_{D_n} f(x,y)d\sigma$ 式中, 区间 D_1, D_2, \dots, D_n 无公共内点
4	二 重 积 分 的 运 算 法 则	先对 y 积分	$\iint_D f(x,y)d\sigma = \int_a^b dx \int_{\phi_1(x)}^{\phi_2(x)} f(x,y)dy$ 
5		利用 直角坐 标系 先对 x 积分	$\iint_D f(x,y)d\sigma = \int_c^d dy \int_{\phi_1(y)}^{\phi_2(y)} f(x,y)dx$ 
6		备注	① 适用于积分区域为矩形、三角形或任意形 ② 如果 D 的图形非以上类型,则需用适当的与坐标轴平行的直线将 D 分成若干小区域,使得每个小区域类似以上类型,然后计算这若干区间的逐项重积分之和
7		利用 极坐标 系 直角 坐标化 为极坐 标	$x = \rho \cos\theta, y = \rho \sin\theta, d\sigma = dx dy = \rho d\rho d\theta$ 故 $\iint_D f(x,y)d\sigma = \iint_D f(\rho \cos\theta, \rho \sin\theta) \rho d\rho d\theta$

(续)

序号	项目		公式
8	二重积分的运算法则	先对 ρ 积分 (原点 o 在 D 域外)	$\iint_D f(x,y)d\sigma = \int_{\theta_1}^{\theta_2} d\theta \int_{\rho_1(\theta)}^{\rho_2(\theta)} f(\rho \cos\theta, \rho \sin\theta) \rho d\rho$ 
9		先对 ρ 积分 (原点 o 在 D 域内)	$\iint_D f(x,y)d\sigma = \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^{\rho(\theta)} f(\rho \cos\theta, \rho \sin\theta) \rho d\rho$ 
10	备注		特别适用于积分区域为圆形、扇形、环形或由两条发自原点的射线及两曲线所围成的区域

9. 曲线积分的基本性质和运算法则 如表 JC1-28 所示。

表 JC1-28 曲线积分的基本性质和运算法则

序号	项目		说明及公式
1	曲线积分的基本性质	对弧长的曲线积分	与积分路线方向无关(无向性) $\int_{\widehat{Ab}} f(x,y)ds = \int_{\widehat{BA}} f(x,y)ds$ 式中, ds 为光滑曲线 \widehat{AB} 上的微小弧长
2		对坐标的曲线积分	改变积分路线方向则改变符号(有向性) $\int_{\widehat{Ab}} Pdx + Qdy = - \int_{\widehat{BA}} Pdx + Qdy$ 式中, dx, dy 分别为光滑曲线 \widehat{AB} 上微小弧长在 x 轴和 y 轴上的投影
3	曲线积分的运算法则	将对弧长的曲线积分化为定积分 以 x 作参数	$\int_{\widehat{Ab}} f(x,y)ds = \int_a^b f[x, \varphi(x)] \sqrt{1 + \varphi'^2(x)} dx$ 式中, $y = \varphi(x), a \leq x \leq b$
4		将对坐标的曲线积分化为定积分 以 y 作参数	$\int_{\widehat{Ab}} f(x,y)ds = \int_c^d f[\psi(y), y] \sqrt{1 + \psi'^2(y)} dy$ 式中, $x = \psi(y), c \leq y \leq d$
4	曲线积分的运算法则	将对弧长的曲线积分化为定积分 以 x 作参数	$\int_{\widehat{Ab}} P(x,y)dx + Q(x,y)dy = \int_a^b \{P[x, \varphi(x)] + Q[x, \varphi(x)]\varphi'(x)\} dx$ 式中, $y = \varphi(x), a$ 对应于曲线起点 A, b 对应于曲线终点 B
		将对坐标的曲线积分化为定积分 以 y 作参数	$\int_{\widehat{Ab}} P(x,y)dx + Q(x,y)dy = \int_c^d \{P[\psi(y), y]\psi'(y) + Q[\psi(y), y]\} dy$ 式中, $x = \psi(y), c$ 对应于曲线起点 A, d 对应于曲线终点 B

(续)

序号	项 目		说 明 及 公 式
5	曲线积分的运算法则	格林(Green)公式	<p>平面上闭区域 D 的边界曲线 C 的积分(环积分)公式</p> $\oint_C Pdx + Qdy = \iint_D \left(\frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial y} \right) dydx$ <p>上式沿闭曲线 C 的积分方向为逆时针方向。此闭曲线 C 与任一平行于坐标轴的直线的交点不多于两个,且函数 $P(x,y), Q(x,y)$ 在 D 上具有一阶连续偏导数</p>
6		利用曲线积分求平面面积 S	$S = \iint_D dx dy = \frac{1}{2} \oint_C x dy - y dx$ <p>式中,曲线 C 为区域 D 的边界曲线</p>
7		平面上曲线积分与路径无关的条件	<p>曲线积分 $\int_L Pdx + Qdy$ 与路径无关的充要条件为</p> $\frac{\partial P}{\partial y} = \frac{\partial Q}{\partial x}$

10. 微分方程的基本概念及其求解方法 如表 JC1-29 所示。根据供电技术应用微分方程的情况,这里主要介绍一阶和二阶线性常微分方程及其求解方法。

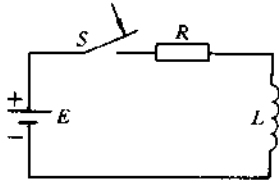
表 JC1-29 微分方程的基本概念及其求解方法

序号	项 目		说 明 及 公 式
1	微分方程的基本概念	微分方程的一般式	$F(x, y, y', \dots, y^{(n)}) = 0$ <p>式中, x 为自变量, $y = f(x)$, 而 $y', \dots, y^{(n)}$ 分别是 $y = f(x)$ 的一阶、\dots、n 阶导数</p>
2		微分方程的阶数	<p>微分方程中出现的最高阶导数的阶数,即微分方程的阶数。例如</p> $A \frac{d^2 y}{dx^2} + Bxy + C = 0$ <p>为二阶微分方程</p>
3	微分方程的解	通解	<p>实质是通过积分法消去各阶导数,求出函数或变量之间的关系式(解式)</p> $y = f(x)$ <p>含有与微分方程阶数相同个数的积分常数的解式,如 $y = f(x, C)$, 称为微分方程的通解。式中 C 为积分常数</p>
4		特解	<p>称为微分方程的解。此法亦称“经典法”</p> <p>相对于通解而言,微分方程的每一个具体解,称为特解</p>
5	一阶微分方程的求解方法	方程形式	$\frac{dy}{dx} = f(x)g(y)$ <p>或 $f_1(x)g_1(y)dx + f_2(x)g_2(y)dy = 0$</p>
		通解	$\int \frac{dy}{g(y)} = \int f(x)dx + C$ <p>或 $\int \frac{f_1(x)}{f_2(x)} dx + \int \frac{g_2(y)}{g_1(y)} dy = C$</p>
		示例	<p>试求 $\frac{dx}{y} + \frac{dy}{x} = 0$ 在 $x = 2, y = 4$ 时的特解</p> <p>解 将题给方程改写成 $x dx + y dy = 0$, 积分后得 $\frac{1}{2} x^2 + \frac{1}{2} y^2 = C$</p> <p>当 $x = 2, y = 4$ 时,得 $C = 10$, 因此所求之特解为</p> $x^2 + y^2 = 20$

(续)

序号	项 目		说 明 及 公 式
6	一 阶 微 分 方 程 的 求 解 方 法	齐 次 型	<p>方程形式 $\frac{dy}{dx} = f\left(\frac{y}{x}\right)$</p> <p>通解 令 $\frac{y}{x} = u$, 即 $y = ux$, $dy = xdu + udx$, $\frac{dy}{dx} = x \frac{du}{dx} + u$, 代入原方程化为变量可分离型方程, 解得</p> $\int \frac{du}{f(u) - u} = \ln x + C$ <p>积分后将 $u = \frac{y}{x}$ 代入即得其通解</p>
		示 例	<p>试求 $y^2 + x^2 \frac{dy}{dx} = xy \frac{dy}{dx}$ 的通解</p> <p>解 将题给方程改写成</p> $\frac{dy}{dx} = \frac{y^2}{xy - x^2} = \frac{\left(\frac{y}{x}\right)^2}{\frac{y}{x} - 1}$ <p>令 $\frac{y}{x} = u$, 而 $\frac{dy}{dx} = x \frac{du}{dx} + u$, 因此上式变为</p> $x \frac{du}{dx} + u = \frac{u^2}{u - 1}$ <p>或 $u dx + x(1 - u) du = 0$</p> <p>将变量分离后得</p> $\frac{dx}{x} + \frac{(1 - u) du}{u} = 0$ <p>积分得 $\ln x + \ln u - u = C$</p> <p>即 $\ln ux = C + u$</p> <p>或 $ux = e^{C+u}$</p> <p>代入 $u = \frac{y}{x}$ 得通解 $y = e^{C+\frac{y}{x}}$</p>
		齐 次 线 性	<p>方程形式 $\frac{dy}{dx} + Py = 0$</p> <p>通解 将变量分离后得</p> $\frac{dy}{y} + P dx = 0$ <p>积分得 $\ln y = -\int P dx + \ln C$</p> <p>由此得 $y = Ce^{-\int P dx}$ 为通解</p>
8	非 齐 次 线 性	方程形式	$\frac{dy}{dx} + Py = Q$
		通解	$y = e^{-\int Px} \left(\int Q e^{\int Px} dx + C \right)$

(续)

序号	项 目		说 明 及 公 式
8	一阶微分方程的求解方法	非齐次线性	<div style="text-align: center;">  </div> <p>在如图所示电路中,电源电动势为 E,电阻 R 与电感 L 串联,试求该电路开关 S 闭合后的电流方程</p> <p>解 根据电路理论,可列出下列微分方程</p> $L \frac{di}{dt} + Ri = E$ <p>或</p> $\frac{di}{dt} + \frac{R}{L}i = \frac{E}{L}$ <p>将上式与标准方程 $\frac{dy}{dx} + Py = Q$</p> <p>比较知: $P = \frac{R}{L}, Q = \frac{E}{L}$, 故</p> $\int_0^t P dt = \int_0^t \frac{R}{L} dt = \frac{R}{L}t$ $\int_0^t Q e^{\int_0^t P dt} dt = \int_0^t \frac{E}{L} e^{\frac{R}{L}t} dt = \frac{E}{R} (e^{\frac{R}{L}t} - 1)$ <p>因此其通解为 $i = e^{-\frac{R}{L}t} \left[\frac{E}{R} (e^{\frac{R}{L}t} - 1) + C \right]$</p> <p>初始条件 $t = 0$ 时, $i = 0$。代入上式,得 $C = 0$。由此可得电流方程</p> $i = \frac{E}{R} e^{-\frac{R}{L}t} (e^{\frac{R}{L}t} - 1) = \frac{E}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}t})$
9		二阶线性微分方程的求解方法	齐次	方程形式 $\frac{d^2y}{dx^2} + p \frac{dy}{dx} + qy = 0$ 通解 $y = \begin{cases} C_1 e^{r_1 x} + C_2 e^{r_2 x} & (r_1, r_2 \text{ 为不相等实根}) \\ e^{ax} (C_1 \cos \beta x + C_2 \sin \beta x) & (r_1, r_2 = a \pm j\beta) \\ (C_1 + C_2 x) e^{rx} & (r_1 = r_2 = r) \end{cases}$ 式中, $r_1, r_2$ 为与标准方程对应的特征方程 $r^2 + pr + q = 0$ 的根
线性	<p>示例</p> <p>试求方程 $\frac{d^2y}{dx^2} - 2 \frac{dy}{dx} - 3y = 0$ 的通解</p> <p>解 其特征方程为 $r^2 - 2r - 3 = 0$</p> <p>即 $(r+1)(r-3) = 0$</p> <p>故其两个不等的实根为 $\begin{cases} r_1 = -1 \\ r_2 = 3 \end{cases}$</p> <p>因此题给方程的通解为 $y = C_1 e^{-x} + C_2 e^{3x}$</p>		

(续)

序号	项 目		说 明 及 公 式
10	二阶线性微分方程的求解方法	非齐次线	<p>方程形式</p> $\frac{d^2y}{dx^2} + p \frac{dy}{dx} + qy = f(x)$
		性	<p>通解</p> $y = Y + y^*$ <p>式中, Y 与上述齐次线性方程的通解 y 相同, 而非齐次方程的特解 y^* 按以下公式确定:</p> <p>①如 $f(x) = P_m(x)e^{\alpha x}$, 其中 $P_m(x)$ 为 m 次多项式, 则</p> $y^* = x^k Q_m(x) e^{\alpha x}$ <p>其中 $Q_m(x)$ 为与 $P_m(x)$ 同次(m 次)的多项式, 其中 k 值</p> $\begin{cases} \text{当 } \alpha \text{ 不是特征方程的根时, 取 } k=0 \\ \text{当 } \alpha \text{ 是特征方程的单根时, 取 } k=1 \\ \text{当 } \alpha \text{ 是特征方程的重根时, 取 } k=2 \end{cases}$ <p>②如 $f(x) = e^{\alpha x} [P_l(x) \cos \beta x + P_n(x) \sin \beta x]$</p> <p>其中 $P_l(x), P_n(x)$ 分别为 l 次、n 次多项式, 则</p> $y^* = x^k e^{\alpha x} [R_m^{(1)}(x) \cos \beta x + R_m^{(2)}(x) \sin \beta x]$ <p>其中 $R_m^{(1)}, R_m^{(2)}$ 为 m 次多项式, m 为 l, n 两数中较大的数。其中 k 值</p> $\begin{cases} \text{当 } a + j\beta \text{ (或 } a - j\beta) \text{ 不是特征方程的根时, 取 } k=0 \\ \text{当 } a + j\beta \text{ (或 } a - j\beta) \text{ 是特征方程的根时, 取 } k=1 \end{cases}$
		性	<p>示例</p> <p>试求 $\frac{d^2y}{dx^2} - 2 \frac{dy}{dx} - 3y = 3x + 1$ 的通解</p> <p>解 对应于齐次方程 $\frac{d^2y}{dx^2} - 2 \frac{dy}{dx} - 3y = 0$ 的特征方程为 $r^2 - 2r - 3 = 0$, 其根 $r_1 = -1, r_2 = 3$, 故齐次方程的通解 $Y = C_1 e^{-x} + C_2 e^{3x}$</p> <p>由于方程中 $f(x) = 3x + 1$, 属于 $P_m(x)e^{\alpha x}$ 类型, 其 $\alpha = 0$, 不是特征方程的根, 因此应取 $k = 0$, 故令 $y^* = b_0 x + b_1$。将 y^* 代入题给方程得</p> $-3b_0 x - 2b_0 - 3b_1 = 3x + 1$ <p>比较等号两边同类项的系数得</p> $-3b_0 = 3 \quad -2b_0 - 3b_1 = 1, \text{ 由此求得 } b_0 = -1, b_1 = \frac{1}{3}。 \text{ 因此 } y^* = -x + \frac{1}{3}$ <p>由此求得题给非齐次方程的通解为</p> $y = Y + y^* = C_1 e^{-x} + C_2 e^{3x} - x + \frac{1}{3}$

(九) 傅里叶级数和拉普拉斯变换知识

1. 傅里叶(Fourier)级数的基本概念和部分典型周期函数的傅氏级数展开式 分别如表 JC1-30 和表 JC1-31 所示。

表 JC1-30 傅里叶级数的基本概念

序号	项 目		说 明 及 公 式
1	周期为 2π 的周期函数 $f(x)$ 展开为傅里叶级数	一 般 式	傅里叶级数的展开式为 $f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx)$ 其中傅里叶系数(含 a_0) 为 $a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos nx dx \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$ $b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin nx dx \quad (n = 1, 2, \dots)$
2		$f(x)$ 为奇函数时	其傅里叶系数(含 a_0) 为 $a_n = 0, b_n = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} f(x) \sin nx dx \quad (n = 1, 2, \dots)$ 傅里叶级数的展开式为 $f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin nx$ 其图像对称于直角坐标的原点
3		$f(x)$ 为偶函数时	其傅里叶系数(含 a_0) 为 $b_n = 0, a_n = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} f(x) \cos nx dx \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$ 傅里叶级数的展开式为 $f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos nx$ 其图像对称于直角坐标的纵坐标
4	周期为 $2l$ 的周期函数 $f(x)$ 展开为傅里叶级数	一 般 式	傅里叶级数的展开式为 $f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cos \frac{n\pi x}{l} + b_n \sin \frac{n\pi x}{l} \right)$ 其中傅里叶系数(含 a_0) 为 $a_n = \frac{1}{l} \int_{-l}^l f(x) \cos \frac{n\pi x}{l} dx \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$ $b_n = \frac{1}{l} \int_{-l}^l f(x) \sin \frac{n\pi x}{l} dx \quad (n = 1, 2, \dots)$
5		$f(x)$ 为奇函数时	其傅里叶系数(含 a_0) 为 $a_n = 0, b_n = \frac{2}{l} \int_0^l f(x) \sin \frac{n\pi x}{l} dx \quad (n = 1, 2, \dots)$ 傅里叶级数的展开式为 $f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin \frac{n\pi x}{l}$ 其图像对称于直角坐标的原点
6		$f(x)$ 为偶函数时	其傅里叶系数(含 a_0) 为 $b_n = 0, a_n = \frac{2}{l} \int_0^l f(x) \cos \frac{n\pi x}{l} dx \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$ 傅里叶级数的展开式为 $f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos \frac{n\pi x}{l}$ 其图像对称于直角坐标的纵坐标
7	当 x 为函数 $f(x)$ 的间断点时		傅里叶级数展开式左边 $f(x) = \frac{f(x-0) + f(x+0)}{2}$

(续)

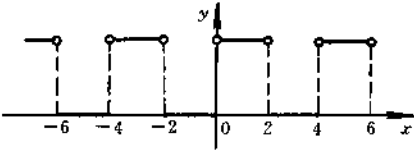
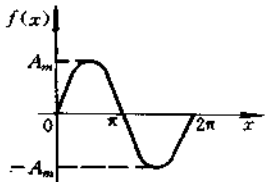
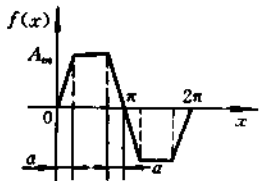
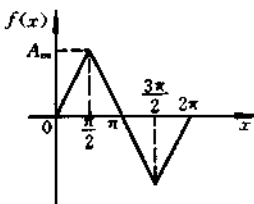
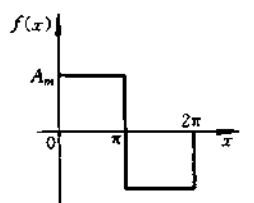
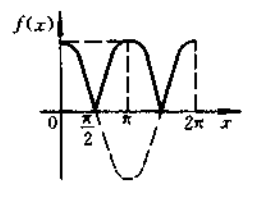
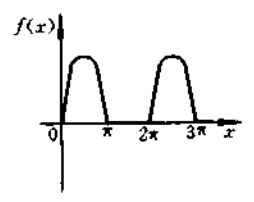
序号	项目	说明及公式
8	当 x 为区间的端点时,即 $x = -\pi$ 或 $x = \pi$ 时	傅里叶级数展开式左边 $f(x) = \frac{f(-\pi+0) + f(\pi-0)}{2}$
9	示例	 <p>展开上图所示函数</p> $f(x) = \begin{cases} 0 & (-2 \leq x \leq 0) \\ A & (0 < x \leq 2) \end{cases} \text{ 为傅里叶级数}$ <p>解 这里 $l = 2, a_0 = \frac{1}{2} \int_{-2}^0 0 dx + \frac{1}{2} \int_0^2 A dx = A$</p> $a_n = \frac{1}{2} \int_0^2 A \cos \frac{n\pi x}{2} dx = \left[\frac{A}{n\pi} \sin \frac{n\pi x}{2} \right]_0^2 = 0$ $b_n = \frac{1}{2} \int_0^2 A \sin \frac{n\pi x}{2} dx = \left[-\frac{A}{n\pi} \cos \frac{n\pi x}{2} \right]_0^2 = \frac{A}{n\pi} (1 - \cos n\pi) = \frac{A}{n\pi} [1 - (-1)^n]$ <p>由此可得傅里叶级数展开式为</p> $f(x) = \frac{A}{2} + \frac{2A}{\pi} \left(\sin \frac{\pi x}{2} + \frac{1}{3} \sin \frac{3\pi x}{2} + \frac{1}{5} \sin \frac{5\pi x}{2} + \dots \right)$ <p style="text-align: center;">$(-2 < x < 0, 0 < x < 2)$</p>

表 JC1-31 部分典型周期函数的傅里叶级数展开式

序号	$f(x)$ 的波形	$f(x)$ 的傅里叶级数展开式	有效值 A	平均值 A_{av}
1	<p>正弦波</p> 	$f(x) = A_m \sin x$	$\frac{A_m}{\sqrt{2}}$	$\frac{2A_m}{\pi}$
2	<p>梯形波</p> 	$f(x) = \frac{4A_m}{\alpha\pi} \left(\sin \alpha \sin x + \frac{1}{9} \sin 3\alpha \sin 3x + \frac{1}{25} \sin 5\alpha \sin 5x + \dots + \frac{1}{n^2} \sin n\alpha \sin nx + \dots \right)$ <p>(n 为奇数)</p>	$A_m \sqrt{1 - \frac{4\alpha}{3\pi}}$	$A_m \left(1 - \frac{\alpha}{\pi} \right)$

(续)

序号	$f(x)$ 的波形	$f(x)$ 的傅里叶级数展开式	有效值 A	平均值 A_m
3	<p>三角波</p> 	$f(x) = \frac{8A_m}{\pi^2} \left(\sin x - \frac{1}{9} \sin 3x + \frac{1}{25} \sin 5x - \dots \right. \\ \left. + \frac{(-1)^{\frac{n-1}{2}}}{n^2} \sin nx \dots \right)$ <p>(n 为奇数)</p>	$\frac{A_m}{\sqrt{3}}$	$\frac{A_m}{\sqrt{2}}$
4	<p>矩形波</p> 	$f(x) = \frac{4A_m}{\pi} \left(\sin x + \frac{1}{3} \sin 3x + \frac{1}{5} \sin 5x + \dots \right. \\ \left. + \frac{1}{n} \sin nx + \dots \right)$ <p>(n 为奇数)</p>	A_m	A_m
5	<p>全波整流波</p> 	$f(x) = \frac{4A_m}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{1 \times 3} \cos 2x - \frac{1}{3 \times 5} \cos 4x \right. \\ \left. + \frac{1}{5 \times 7} \cos 6x + \dots + \frac{(-1)^{\frac{n}{2}}}{(n-1)(n+1)} \right. \\ \left. \cos nx \dots \right)$ <p>(n 为偶数)</p>	$\frac{A_m}{\sqrt{2}}$	$\frac{2A_m}{\pi}$
6	<p>半波整流波</p> 	$f(x) = \frac{2A_m}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{\pi}{4} \sin x - \frac{1}{1 \times 3} \cos 2x \right. \\ \left. - \frac{1}{3 \times 5} \cos 4x + \dots - \frac{1}{(n-1)(n+1)} \right. \\ \left. \cos nx \dots \right)$ <p>(n 为偶数)</p>	$\frac{A_m}{2}$	$\frac{A_m}{\pi}$

(续)

序号	$f(x)$ 的波形	$f(x)$ 的傅里叶级数展开式	有效值 A	平均值 A_{av}
7	<p>三相整流波</p>	$f(x) = \frac{3\sqrt{3}A_m}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2 \times 4} \cos 3x - \frac{1}{5 \times 7} \cos 6x + \dots + \frac{(-1)^{n-1}}{(n-1)(n+1)} \cos nx \dots \right)$ <p>(n 为 3 的整数倍数)</p>	$A_m \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi}}$	$\frac{3\sqrt{3}A_m}{2\pi}$
8	<p>锯齿波</p>	$f(x) = A_m \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \left(\sin x + \frac{1}{2} \sin 2x + \frac{1}{3} \sin 3x + \dots + \frac{1}{n} \sin nx + \dots \right) \right]$	$\frac{A_m}{\sqrt{3}}$	$\frac{A_m}{2}$
9	<p>矩形脉冲波</p>	$f(x) = A_m \left[\alpha + \frac{2}{\pi} \left(\sin \alpha \cos x + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \cos 2x + \frac{1}{3} \sin 3\alpha \cos 3x + \dots \right) \right]$	$\sqrt{\alpha} A_m$	αA_m

2. 拉普拉斯(Laplace)变换的基本概念和拉氏变换简表 分别如表 JC1-32 和表 JC1-33 所示。

表 JC1-32 拉普拉斯变换的基本概念

序号	项 目	说 明 及 公 式
1	拉普拉斯变换与逆变换的定义	<p>函数 $f(t)$ 的拉普拉斯变换式为</p> $\mathcal{L}[f(t)] = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt = F(s)$ <p>式中,“\mathcal{L}”是拉普拉斯变换的符号,也可写作“L”;s 是正实数或实数为正的复数($s = \sigma + j\omega$),称为参数。函数 $f(t)$ 称为原函数,拉普拉斯变换 $F(s)$ 称为象函数。反过来,函数 $f(t)$ 称为函数 $F(s)$ 的拉普拉斯逆变换,或称象原函数,即 $\mathcal{L}^{-1}[F(s)] = f(t)$</p> <p>拉普拉斯变换简称拉氏变换。利用拉氏变换求解的方法,亦称“运算法”</p>

(续)

序号	项 目	说 明 及 公 式
2	线性性质	<p>如果 a, β 是常数, $\mathcal{L}[f_1(t)] = F_1(s), \mathcal{L}[f_2(t)] = F_2(s)$, 则有</p> $\mathcal{L}[af_1(t) + \beta f_2(t)] = a\mathcal{L}[f_1(t)] + \beta\mathcal{L}[f_2(t)]$ $\mathcal{L}^{-1}[aF_1(s) + \beta F_2(s)] = a\mathcal{L}^{-1}[F_1(s)] + \beta\mathcal{L}^{-1}[F_2(s)]$ <p>该性质表明函数的线性组合的拉氏变换等于各函数拉氏变换的线性组合</p>
3	位移性质	<p>如果 $\mathcal{L}[f(t)] = F(s)$, 则有</p> $\mathcal{L}[e^{at}f(t)] = F(s-a) \quad (a \text{ 为常数})$ <p>该性质表明一个象函数乘以指数 e^{at} 等于其象函数作位移 a</p>
4	延迟性质	<p>如果 $\mathcal{L}[f(t)] = F(s)$, 又 $t < 0$ 时 $f(t) = 0$, 则对于任一实数 τ, 有</p> $\mathcal{L}[f(t-\tau)] = e^{-s\tau}F(s)$ <p>或</p> $\mathcal{L}^{-1}[e^{-s\tau}F(s)] = f(t-\tau)$ <p>该性质表明时间函数延迟 τ, 相当于它的象函数乘以指数 $e^{-s\tau}$</p>
5	拉氏变换的微分性质	<p>如果 $\mathcal{L}[f(t)] = F(s)$, 则有</p> $\mathcal{L}[f'(t)] = sF(s) - f(0)$ <p>该性质表明一个函数求导后取拉氏变换, 等于该函数的拉氏变换乘以参数 s, 再减去函数的初值</p> <p>推论</p> $\mathcal{L}[f^{(n)}(t)] = s^n F(s) - s^{n-1}f(0) - s^{n-2}f'(0) - \dots - f^{(n-1)}(0)$ <p>当初值 $f(0) = f'(0) = f''(0) = \dots = f^{(n-1)}(0) = 0$ 时, 则有</p> $\mathcal{L}[f^{(n)}(t)] = s^n F(s) \quad (n=1, 2, \dots)$ <p>利用这一性质, 可将 $f(t)$ 的微分方程转化为 $F(s)$ 的代数方程</p>
6	拉氏变换的积分性质	<p>如果 $\mathcal{L}[f(t)] = F(s)$, 则有</p> $\mathcal{L}\left[\int_0^t f(t) dt\right] = \frac{1}{s}F(s)$ <p>该性质表明一个函数积分后取拉氏变换, 等于该函数的拉氏变换除以参数 s</p> <p>推论</p> $\mathcal{L}\left\{\underbrace{\int_0^t dt \int_0^t dt \dots \int_0^t f(t) dt}_{n \text{ 次}}\right\} = \frac{1}{s^n}F(s)$ <p>利用这一性质, 可将 $f(t)$ 的积分转化为代数式进行运算</p>
7	初值定理	<p>如果 $\mathcal{L}[f(t)] = F(s)$, 且 $\lim_{s \rightarrow \infty} sF(s)$ 存在, 则</p> $\lim_{t \rightarrow 0} f(t) = \lim_{s \rightarrow \infty} sF(s)$ <p>即</p> $f(0) = \lim_{s \rightarrow \infty} sF(s)$ <p>该性质表明 $f(t)$ 在 $t=0$ 时的函数值, 可以通过 $f(t)$ 的拉氏变换 $F(s)$ 乘以 s 取 $s \rightarrow \infty$ 时的极限值而得到</p>
8	终值定理	<p>如果 $\mathcal{L}[f(t)] = F(s)$, 且 $\lim_{t \rightarrow \infty} f(t)$ 存在, 则</p> $\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sF(s)$ <p>即</p> $f(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} sF(s)$ <p>该性质表明 $f(t)$ 在 $t \rightarrow \infty$ 时(即稳态时)的函数值, 可以通过 $f(t)$ 的拉氏变换 $F(s)$ 乘以 s 取 $s \rightarrow 0$ 时的极限值而得到</p>

(续)

序号	项目	说明及公式
9	求解微分方程的步骤	
10	拉氏变换的应用	<p>试用运算法(拉氏变换)求解前面表 JC1-29 中序号 8 所示 R-L 电路接上直流电压 E 后的电流方程</p> <p>解 电路的微分方程为</p> $Ri + L \frac{di}{dt} = E$ <p>对上述方程取拉氏变换,且设 $\mathcal{L}[i(t)] = I(s)$,则有</p> $RI(s) + L[sI(s) - i(0)] = \mathcal{L}[E] = \frac{E}{s}$ <p>将 $t=0$ 时 $i(0)=0$ 代入得</p> $RI(s) + LsI(s) = \frac{E}{s}$ <p>故</p> $I(s) = \frac{E}{sL\left(\frac{R}{L} + s\right)}$ <p>对上式取拉氏逆变换得</p> $i(t) = \mathcal{L}^{-1}[I(s)] = \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{E}{sL\left(\frac{R}{L} + s\right)}\right]$ <p>根据表 JC1-33 序号 24 的逆变换公式可得电流方程为</p> $i = \frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right)$

表 JC1-33 拉普拉斯变换简表

序号	原函数 $f(t)$	象函数 $F(s)$	序号	原函数 $f(t)$	象函数 $F(s)$
1	1	$\frac{1}{s}$	6	$e^{-at} \cos at$	$\frac{s+b}{(s+b)^2+a^2}$
2	e^{at}	$\frac{1}{s-a}$	7	$e^{-at} \sin(at+c)$	$\frac{(s+b) \sin c + a \cos c}{(s+b)^2+a^2}$
3	$\sin at$	$\frac{a}{s^2+a^2}$	8	$\sin^2 t$	$\frac{1}{2} \left(\frac{1}{s} - \frac{s}{s^2+4} \right)$
4	$\cos at$	$\frac{s}{s^2+a^2}$	9	$\cos^2 t$	$\frac{1}{2} \left(\frac{1}{s} + \frac{s}{s^2+4} \right)$
5	$e^{-bt} \sin at$	$\frac{a}{(s+b)^2+a^2}$	10	$\sin at \sin bt$	$\frac{2abs}{[s^2+(a+b)^2][s^2+(a-b)^2]}$

(续)

序号	原函数 $f(t)$	象函数 $F(s)$	序号	原函数 $f(t)$	象函数 $F(s)$
11	$e^{at} - e^{bt}$	$\frac{a-b}{(s-a)(s-b)}$	26	$\frac{e^{-at}}{(b-a)(c-a)} + \frac{e^{-bt}}{(a-b)(c-b)}$ $+ \frac{e^{-ct}}{(a-c)(b-c)}$	$\frac{1}{(s+a)(s+b)(s+c)}$
12	$ae^{at} - be^{bt}$	$\frac{(a-b)s}{(s-a)(s-b)}$		27	$\frac{ae^{-at}}{(c-a)(a-b)} + \frac{be^{-bt}}{(a-b)(b-c)}$ $+ \frac{ce^{-ct}}{(b-c)(c-a)}$	$\frac{s}{(s+a)(s+b)(s+c)}$
13	$\frac{1}{a} \sin at - \frac{1}{b} \sin bt$	$\frac{b^2 - a^2}{(s^2 + a^2)(s^2 + b^2)}$	28		$\frac{a^2 e^{-at}}{(c-a)(b-a)} + \frac{b^2 e^{-bt}}{(a-b)(c-b)}$ $+ \frac{c^2 e^{-ct}}{(b-c)(a-c)}$	$\frac{s^2}{(s+a)(s+b)(s+c)}$
14	$\cos at - \cos bt$	$\frac{(b^2 - a^2)s}{(s^2 + a^2)(s^2 + b^2)}$		29	$\frac{e^{-at} - e^{-bt} [1 - (a-b)t]}{(a-b)^2}$
15	$\frac{1}{a^2} (1 - \cos at)$	$\frac{1}{s(s^2 + a^2)}$	30		$\frac{[a-b(a-b)t]e^{-bt} - ae^{-at}}{(a-b)^2}$
16	$\frac{1}{a^3} (at - \sin at)$	$\frac{1}{s^2(s^2 + a^2)}$		31	$e^{-at} - e^{-\frac{at}{2}} \left(\cos \frac{\sqrt{3}}{2} at \right.$ $\left. - \sqrt{3} \sin \frac{\sqrt{3}}{2} at \right)$	$\frac{3a^2}{s^3 + a^3}$
17	$\frac{1}{a^4} (\cos at - 1) + \frac{1}{2a^2} t^2$	$\frac{1}{s^3(s^2 + a^2)}$	32		$\frac{1}{\sqrt{\pi t}}$
18	$\frac{1}{2a^3} (\sin at - at \cos at)$	$\frac{1}{(s^2 + a^2)^2}$	33	$2 \sqrt{\frac{t}{\pi}}$	$\frac{1}{s \sqrt{s}}$
19	$\frac{t}{2a} \sin at$	$\frac{s}{(s^2 + a^2)^2}$	34	$\frac{1}{\sqrt{\pi t}} e^{at} (1 + 2at)$	$\frac{s}{(s-a) \sqrt{s-a}}$
20	$\frac{1}{2a} (\sin at + at \cos at)$	$\frac{s^2}{(s^2 + a^2)^2}$	35	$\frac{1}{2 \sqrt{\pi t^3}} (e^{bt} - e^{at})$	$\sqrt{s-a} - \sqrt{s-b}$
21	$\frac{1}{a^4} (1 - \cos at) - \frac{1}{2a^3} t \sin at$	$\frac{1}{s(s^2 + a^2)^2}$	36	$\frac{1}{\sqrt{\pi t}} \sin 2 \sqrt{at}$	$\frac{1}{s \sqrt{s}} e^{-\frac{a}{s}}$
22	$(1-at)e^{-at}$	$\frac{s}{(s+a)^2}$	37	$\frac{1}{\sqrt{\pi t}} \cos 2 \sqrt{at}$	$\frac{1}{\sqrt{s}} e^{-\frac{a}{s}}$
23	$t \left(1 - \frac{a}{2} t \right) e^{-at}$	$\frac{s}{(s+a)^3}$	38	$\frac{1}{t} (e^{bt} - e^{at})$	$\ln \frac{s-a}{s-b}$
24	$\frac{1}{a} (1 - e^{-at})$	$\frac{1}{s(s+a)}$	39	$\frac{2}{t} (1 - \cos at)$	$\ln \frac{s^2 + a^2}{s^2}$
25	$\frac{1}{ab} + \frac{1}{b-a} \left(\frac{e^{-bt}}{b} - \frac{e^{-at}}{a} \right)$	$\frac{1}{s(s+a)(s+b)}$	40	$\frac{1}{t} \sin at$	$\arctan \frac{a}{s}$

(十) 矢量运算的初步知识

1. 矢量代数运算的基本公式 如表 JC1-34 所示。

表 JC1-34 矢量代数运算的基本公式

序号	项 目		公 式	
1	矢量相加	交换律	$a+b=b+a$	
		结合律	$a+(b+c)=(a+b)+c=(a+c)+b$	
		总矢量	$s=a+b+\dots+p$	
2	矢量与标量相乘		$A=af=|af|u$ 式中, u 为单位矢量,$|af|$ 为 A 的模	
3	标量积 (点乘)	定义	$A=a \cdot b=|a||b|\cos\varphi$ 式中, φ 为 a, b 间夹角	
		交换律	$a \cdot b=b \cdot a$	
		分配律	$(a+b) \cdot c=a \cdot c+b \cdot c$	
		备注	没有结合律	
4	矢量与 矢量相乘	矢量积 (叉乘)	定义	$A=a \times b$
			模(大小)	$|A|=|a||b|\sin\varphi$ 式中, φ 为 a, b 间夹角
			方向	按右手螺旋定则(参看表 JC1-1 序号 100), A 与 a, b 平面垂直(正序)
			分配律	$(a+b) \times c=a \times c+b \times c$
			备注	没有交换律和结合律
5	混合积	标量积	$A=a \cdot (b \times c)=b \cdot (c \times a)=c \cdot (a \times b)$	
6		矢量积	$A=a \times (b \times c)=(a \cdot c)b-(a \cdot b)c$	

注:矢量的符号,印刷用黑体,如 a ;书写时字母上边应加箭头,如 \vec{a} 。

2. 矢量微分算子及梯度、散度、旋度的定义 如表 JC1-35 所示。

表 JC1-35 矢量微分算子及梯度、散度、旋度

序号	项 目	公 式
1	矢量微分算子(参看表 JC1-2 序号 8.5)	$\nabla=i \frac{\partial}{\partial x}+j \frac{\partial}{\partial y}+k \frac{\partial}{\partial z}$ 式中, i, j, k 分别为直角坐标系 x, y, z 轴方向的单位矢量
2	梯度	$\text{grad}\phi=\nabla\phi=i \frac{\partial\phi}{\partial x}+j \frac{\partial\phi}{\partial y}+k \frac{\partial\phi}{\partial z}$
3	散度	$\text{div}A=\nabla \cdot A=\frac{\partial A_x}{\partial x}+\frac{\partial A_y}{\partial y}+\frac{\partial A_z}{\partial z}$
4	旋度	$\text{rot}A=\nabla \times A=i\left(\frac{\partial A_z}{\partial y}-\frac{\partial A_y}{\partial z}\right)+j\left(\frac{\partial A_x}{\partial z}-\frac{\partial A_z}{\partial x}\right)+k\left(\frac{\partial A_y}{\partial x}-\frac{\partial A_x}{\partial y}\right)$

注:排印黑体的字母符号,书写时字母上边应加箭头,如 $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ 。

主要参考文献

- 1 陈森林主编. 简明数学辞典. 武汉:湖北人民出版社,1984
- 2 樊映川等编. 高等数学讲义. 北京:高等教育出版社,1994
- 3 武汉大学数学专业编. 线性代数. 北京:人民教育出版社,1977
- 4 南京工学院数学教研组编. 工程数学. 积分变换. 北京:人民教育出版社,1978
- 5 [法]安德烈·安戈著. 电工电信工程师数学. 陆志刚等译. 北京:人民邮电出版社,1979
- 6 邱关源主编. 电路. 北京:人民教育出版社,1978
- 7 俞大光主编. 电路及磁路. 北京:高等教育出版社,1986
- 8 国家标准 GB3100~3102-93 量和单位. 北京:中国标准出版社,1994

二、物理基础(JC2)

(一) 常用的物理名词术语

供电技术中较常用的物理名词术语(不含电磁学名词术语) 如表 JC2-1 所示。(注:电磁学名词术语另见表 JC6-1。)

表 JC2-1 常用的物理名词术语

序号	名词术语	含 义 说 明
1	物 质 matter	物质是客观存在。世界的本质是物质的,也是无限的永远运动的物质总体。时间和空间则是运动着的物质的存在形式。各种事物的产生和消失,只是物质形态在一定条件下的转化。物质存在两种基本形态:实物和场。这两种形态可以在一定条件下相互转化
2	实 物 material object	实物是指具有静止质量的基本粒子所组成的物质,以区别于另一种称为场的物质。但实物与场又有不可分割的联系。任何实物粒子都不能脱离有关的场而独立存在
3	场 field	指物理场,是物质存在的两种基本形态之一。场存在于整个空间。实物之间的相互作用是依靠有关场来实现的。场本身具有能量、动量和质量,而且在一定条件下可以与实物相互转化
4	运 动 motion	运动是物质的存在形式及其固定属性。世界上的各种现象都是物质运动的表现形式。运动是绝对的、永恒的。在自然科学中,运动有时仅指机械运动
5	静 止 static	一物体对另一物体不发生相对运动,则称这两个物体处于相对静止状态。一般所指的物体处于静止状态,往往是相对于地球而言的
6	空间和时间 space and time	空间和时间是运动着的物质的存在形式。空间是物质的广延性,时间是物质运动过程的持续性和顺序性。就宇宙而言,空间和时间都是无限的,空间无边无际,时间无始无终。在国际单位制(SI制)中,量度空间的基本单位是“米”(m),量度时间的基本单位是“秒”(s)
7	宏 观 macroscopic	宏观物体一般是指空间线度大于 $10^{-3} \sim 10^{-6} \text{m}$ 、由极多原子组成并能用肉眼看得见的物体。宏观现象一般指宏观物体和场在宏观的空间范围内的各种现象
8	微 观 microcosmic	微观粒子一般是指空间线度小于 $10^{-2} \sim 10^{-8} \text{m}$ 的粒子,包括分子、原子和各种基本粒子。微观现象一般指微观粒子和场在极其微小的空间范围内的各种现象,如原子中电子绕原子核的运动等
9	状 态 state	指物质系统所处的状况。物质系统的状态由一组物理量来表征。例如质点的机械运动状态就是由质点的位置和速度来决定的。在外界作用下,物质系统的状态将随时间而变化。状态一词,有时指物质的固、液、气等态
10	物理量 physical quantity	指量度物质的属性和描述其运动状态时所用的各种量值。物理学中以时间、长度、质量、温度、电流强度、发光强度等作为基本量,其余物理量则分别按其定义由基本量组合而成,称为导出量,如速度、功率等

(续)

序号	名 词 术 语	含 义 说 明
11	国际单位制,SI制 International System of Units	国际计量大会决定采用的一种单位制,代号为SI。以米(m)、千克(kg)、秒(s)、安(培)(A)、开(尔文)(K)、摩(尔)(mol)和坎(德拉)(cd)作为基本单位,其它单位均由这7个单位导出。我国规定国际单位制的单位都是我国的法定的计量单位(参看表JC2-2~10)
12	质量 mass	用以表征物体中含有物质的多少,是物体本身的一种属性,它是物体惯性大小的量度,是标量,它的大小,不因所处的地理位置不同而有所改变。在国际单位制中,质量的基本单位为千克(kg)
13	力 force	用以表征物体之间的相互作用的大小和方向,是矢量。凡能使物体获得加速度或发生形变的作用都称为力。力的大小、方向和作用点,称为“力的三要素”。在国际单位制中,力的基本单位为牛[顿](N)
14	重力 gravity	指由于地球吸引而使物体受到的力,重力因物体所处的地理位置不同而略有不同。离地面越远,重力越小。其它天体对物体的吸引而使物体受到的力,广义上也称为重力,如月球重力、火星重力等。在国际单位制中,重力的基本单位为牛[顿](N)
15	重量 weight	指物体所受重力的大小,其单位与重力相同。但社会生活中所谓重量,实际上是指的物体质量,因此其单位采用质量的单位千克(kg)或吨(t)等,现不赞成这种将质量称作重量的习惯
16	比重 specific gravity	指物质的重量与同体积的纯水在4℃时的重量相比所得的比值(4℃时1mL纯水重1g)现不推荐“比重”这个术语,改称为“相对密度”
17	密度 density	指物质的质量与其体积的比值,也就是单位体积所含的质量数,其绝对数值与该物质的比重相同
18	质点 particle	指不计其大小和形状且将质量看作集中于一点的物体。这是一个科学抽象的概念,可使有关问题的研讨简化
19	刚体 rigid body	指在外力作用下,其各质点间的距离均保持不变的物体。这是一个科学抽象的概念,也是一个理想化的模型。在研讨某些力学问题时,可使问题大大简化
20	位移 displacement	位移是表示质点位置变化的物理量,属矢量。它与路程不同。路程是质点运动轨迹的长度,属标量
21	速度 velocity	描述物体运动的方向和位置变化快慢的物理量。物体的位移与所经历时间之比,称为这段时间(或位移)内的平均速度。如果这一时间极短,则这一比值称为该物体在该时刻的瞬时速度。速度是矢量,其方向与位移方向相同
22	速率 speed, rate	指速度的大小。距离与通过这段距离所用时间的比值,称为速率。速率是标量。其单位与速度相同
23	加速度 acceleration	描述速度变化快慢的物理量。速度的变化与发生这一变化所用的时间的比值,称为这段时间的平均加速度。如果这一时间极短,则这一比值称为该物体在该时刻的瞬时加速度。加速度也是矢量,方向与速度变化的方向相同
24	重力加速度 acceleration of gravity	指自由落体运动的加速度,用g表示。通常认为 $g=9.81\text{m/s}^2$

5 B

(续)

序号	名 词 术 语	含 义 说 明
25	线速度 linear velocity	质点(或物体上的各点)作曲线运动时所具有的速度,其方向为沿轨道的切线方向,因此也称为切向速度。质点作匀速圆周运动时,通过的弧长与通过这段弧长所用的时间之比,称为线速度
26	角速度 angular velocity	描述物体转动或一质点转动的快慢和方向的物理量。在匀速圆周运动中,质点转过的角度与所经历的时间之比,称为角速度。角速度(ω)与线速度(v)、轨道半径(r)之间的关系为 $\omega = v/r$
27	角加速度 angular acceleration	描述角速度变化的快慢和方向的物理量。物体角速度的变化与所经历的时间之比,称为这段时间内的平均角加速度。如果这一时间极短,则这一比值就称为该物体在该时刻的角加速度,或称为该时刻的瞬时角加速度
28	弹性 elasticity	材料或物体在外力作用下产生形变,而在外力除去后,形变随即消失,恢复物体原有的形状和尺寸,这种性质称为弹性。这种可恢复的形变,称为弹性形变
29	塑性 plasticity	材料或物体在外力作用下产生形变,而在外力除去后,如果仍有部分形变不能消失,但又不致立即断裂,这种性质称为塑性。这部分剩余的永久形变,称为塑性形变
30	摩擦 friction	指相互接触的两物体,在接触面上发生阻碍相对运动的现象。按照不同的相对运动情况,可分为滑动摩擦和滚动摩擦,而对物体因有外力作用可能滑动但因有摩擦存在仍处于相对静止状态的摩擦,称为静摩擦。液体和气体物质内部各部分之间的摩擦,称为内摩擦。通常互相接触的两物体间作来回相对运动的动作,也称为摩擦。如摩擦生热、摩擦起电等
31	功 work	量度能量转换的物理量。甲物体对乙物体做功的过程,就是能量从甲物体传递到乙物体的过程。能量传递的多少,就是做功的数值。功是标量。当物体在外力 F 作用下,位置移动 s 距离时,则外力 F 所作的机械功为 $Fs\cos\theta$ (θ 为 F 与 s 两方向之间的夹角, $\cos\theta$ 称为功率因数)。在国际单位制中,功的单位为焦[耳](J),常用单位还有千瓦·时(kW·h)等
32	功率 power	表征做功快慢程度的物理量。功与其做功所用的时间的比值,称为功率。在国际单位制中,功率的单位为瓦[特](W)
33	能,能量 energy	任何物质都离不开运动,而对运动的最基本的量度,就是能量。由于物质运动的形态不同,能量可分为机械能、电能、化学能、核能等等。当物质的运动形式发生转变时,能量的形式同时发生转变。能量可以在物质之间传递,这种传递过程就是做功或传递热量。能量是一个标量。能量的单位与功的单位相同
34	动能 kinetic energy	指物体由于作机械运动而具有的能量。动能是标量,单位与能的单位相同
35	势能,位能 potential energy	指物体系统由于物体之间或物体内各部分之间存在相互作用而具有的能量。势能可分为引力势能、弹性势能、电磁势能和核势能等。在一定相互作用下,系统的势能由各物体的相对位置决定。一般说来,克服物体间相互作用力而发生位置变化时所做的功,使系统的势能增加,反之使系统的势能减少。如果要确定物体在各位置势能的绝对值,就必须首先规定一个作标准的零点。例如,对于地球和地面附近的物体,往往以地面作为势能的零点。势能也是标量,单位也与能的单位相同
36	机械能 mechanical energy	指物体在某一运动状态所具有的动能与势能的总和

(续)

序号	名词术语	含 义 说 明
37	力矩 moment of force	表征力对物体作用时所产生的转动效应的物理量。力对某点的力矩大小,等于该点到力的作用线所引垂线的长度乘以力的大小。力矩是矢量,其方向则为上述垂线与力所构成的平面的法线(力矩转轴)方向,按右手螺旋定则确定
38	力偶 couple	指大小相等、方向相反但不在同一直线上的两个力。力偶能使物体转动或改变其转动状态,力偶的转动效应决定于力偶矩,即其中任一个力的大小与两力作用线之间垂直距离(力偶臂)的乘积。力偶与力矩一样,也是矢量
39	动量 momentum	表征物体机械运动状态的一个重要物理量。物体之间发生动量传递时,就反映了一物体的机械运动转移为另一物体的机械运动。动量为矢量,其大小为物体质量与速度的乘积,其方向为速度的方向
40	冲量 impulse	表征力对时间累积效果的过程的物理量。作用在物体上的力与作用时间的乘积就是冲量。它的作用使物体的动量发生变化,而且物体所受的冲量就等于其动量的变化。冲量也是矢量,其方向为作用力的方向
41	压力 pressure	指垂直作用于物体表面的力
42	压强 intensity of pressure	指垂直作用于物体单位面积上的力。压强的国际单位制单位为帕斯卡,简称帕(Pa), $1\text{Pa}=1\text{N/m}^2$
43	大气压 atmospheric pressure	它是非法定计量单位,在工程上常用,是标准大气压(atm)的简称,亦称“大气压强”,简称“气压”。它是由于地球周围大气的重量而产生的压强,其大小与高度、温度等条件有关,在工程上还常用工程大气压(at) $1\text{atm}=101325\text{Pa}$ $1\text{at}=98066.5\text{Pa}$
44	物态 material state	指物质分子集合的状态。物态通常有气态、液态和固态,通称为“物质三态”。此外,尚有物质第四态——等离子体(极高温下几乎完全电离的气体)和物质第五态——存在于地球内部的超高压、超高温状态(也有的将液晶态称为物质第五态)。物质究竟处于什么状态,通常由温度和压强所决定。同种物质所处的状态不同,分子的排列与分子间的距离也不同。物态也称为物相或聚集态
45	扩散 diffuse	指由于微粒(分子、原子等)的热运动而产生的物质迁移现象。扩散可由一种或多种物质在气、液或固态的同一态或不同态间进行。它主要由浓度差或温度差所引起,而以前者为较常见。一般是从浓度较高的区域向其较低的区域扩散,直到一态内各部分的浓度达到均匀或两态间的浓度达到平衡为止。例如氮在静止空气中的散播,墨汁与水的掺合,铜件表面的渗碳等。扩散速度在气体中最大,液体中次之,固体中最小,并且浓度差越大、微粒质量越小、温度越高,扩散也越快
46	熔点 melting point	指晶体物质开始溶解时的温度。它是该物质的固态与液态可以平衡共存的温度。不同的晶体有不同的熔点。同一种晶体,其熔点又与所受的压强大小有关。非晶体(如玻璃、沥青等)在溶解过程中随着温度的升高而逐渐软化,最后成为液体,因此无熔点可言
47	凝固点 solidifying point	指晶体物质开始凝固时的温度。它是该物质的液态与固态可以平衡共存的温度。凝固点决定于晶体的种类和所受的压强。对非晶体来说,则无凝固点可言。水的凝固点,则通称为“冰点”(freezing point)。水在 $101.325\text{kPa}(1\text{atm})$ 下的冰点为 0°C

(续)

序号	名 词 术 语	含 义 说 明
48	气化 gasification	指物质从液态转变为气态的过程。物质气化时需要吸收热量。气化分蒸发和沸腾两种方式。蒸发是液体表面的气化现象。蒸发在任何温度下都存在。沸腾是液体表面和内部同时发生剧烈气化的现象,相伴有气泡产生。在一定的外界压强下,沸腾只能在某一特定温度(沸点)下才能发生
49	沸点 boiling point	指液体开始沸腾时的温度。由于液体沸腾时,其内部所形成的气泡中饱和蒸汽压至少必须等于外界压强,气泡才能增大并上升,因此沸点也就是液体的饱和气压等于外界压强时的温度。水在 101.325kPa(1atm)下的沸点为 100℃
50	热量 quantity of heat	指由于温度差别而转移的能量。在温度不同的物体间,热量总是由高温物体向低温物体传递。热量传递是能量转移的一种方式。热量的国际单位为焦[耳](J),过去常用的热量单位“卡”(cal),现已废止不用(1cal=4.184J)
51	热传递 thermal transmit	指物质系统内热量的转移过程,热传递通过热传导、热对流和热辐射三种方式来实现。在实际中,这三种方式总是相伴进行的
52	热平衡 thermal equilibrium	指与外界接触的物体,其内部温度各处均匀,并等于外界温度的状况。在热平衡时,物体各部分以及物体与外界之间都没有热交换,既不吸热,也不散热
53	比热容 specific heat capacity	又称“质量热容”,指使单位质量(1kg)的物质的温度升高 1K(相当于升高 1℃)所需的热量,曾简称“比热”,它用来表征各种物质不同的吸热或放热的能力。单位为 J/(kg·K)
54	热容 heat capacity	指某一物体温度升高或降低 1K(相当 1℃)所吸收或放出的热量。它等于物体的质量与其比热容的乘积。单位为 J/K。例如铜的比热容为 385.2J/(kg·K),因此 1kg 铜的热容则为 385.2J/K
55	热功当量 mechanical equivalent of heat	这是过去热量以卡(cal)为单位时,卡与功、能的单位焦耳(J)之间的换算系数。热功当量为 0.24cal/J,现已废止不用
56	光 light	<p>光是一种波长(波长为相邻的两个波峰或波谷之间的距离)比毫米无线电波短又比 X 射线长的电磁波。光的波长范围(光谱)的界限并不十分确定,大致在 1mm~1nm 之间,其中红外线——波长 1mm~780nm,可见光——波长 780~380nm,紫外线——波长 380~1nm 光也可认为指“可见光”。可见光包括:</p> <p style="padding-left: 2em;"> 红色光——波长 780~640nm 橙色光——波长 640~600nm 黄色光——波长 600~570nm 绿色光——波长 570~490nm 青色光——波长 490~450nm 蓝色光——波长 450~430nm 紫色光——波长 430~380nm </p> <p>光具有波粒二象性。光在传播、干涉、衍射等现象中显示其波动性,而在光电效应等现象中则显示其粒子性</p>

(续)

序号	名 词 术 语	含 义 说 明
57	光速 velocity of light	一般指光在真空中的传播速度。光与其它所有电磁波一样,在真空中传播的速度约为 $3 \times 10^8 \text{m/s}$ 。据精确测定,光速的准确值为 299792.458km/s 。光速是物理学中的重要常数之一,用 c 表示。相对论指出,光速是一切物质运动速度的最大极限。光在其它媒质中的传播速度都小于 c ,并且随着媒质的性质而不同,如光在水中的速度约为 $\frac{3}{4}c$,在玻璃中约为 $\frac{2}{3}c$ 等
58	光源 light source	通常指能够发出可见光的发光体。光源常用于照明或显示信号。 光源主要有热辐射光源(如太阳、白炽灯等)和气体放电光源(如荧光灯、高压汞灯、高压钠灯等),此外还有激光器和场致发光屏等新型光源
59	光通量 luminous flux	指光源在单位时间内向周围空间辐射出的使人眼产生光感的能量,简称“光通”。符号为“ Φ ”,单位为“流明”(lm)
60	发光强度 luminous intensity	简称“光强”,是表征光源发光强弱程度的物理量。以光源发出的光通量除以空间的总立体角(4π),就是该光源的平均发光强度。如果以光源(或光源的一部分发光面)在某一方向上立体角内所发出的光通量除以该立体角,就是该光源在此方向上的发光强度(详见表 ZY10-1 序号 7)。符号为“ I ”,单位为“坎德拉”(cd)
61	照度 illuminance	表征物体被照明程度的物理量。受照物体表面单位面积投射的光通量,称为“照度”(详见表 ZY10-1 序号 8)。符号为“ E ”,单位为“勒克斯”(lx)
62	亮度 luminance	发光体(不只是光源,一般受照物体对人眼来说,都可看作间接发光体,因为它们都要反射光线)在视线方向单位投影面上的发光强度,称为“亮度”(详见表 ZY10-1 序号 9)。符号为“ L ”,单位为“坎德拉/米 ² ”(cd/m ²)
63	红外线 infrared ray	在电磁波谱中,波长介于无线电波与可见红光之间的电磁辐射,称为红外线。它不能引起视觉,但有显著的热效应。红外线易被物体吸收,转化为物体的内能。红外线有较强的穿透能力。它与可见光一样,也是原子的外层电子受激发后而产生的。红外线的应用极广,如红外线取暖、远红外遥感技术等
64	紫外线 ultraviolet ray	在电磁波谱中,波长介于可见紫光与 X 射线之间的电磁辐射,称为紫外线。它的特性是荧光作用强,具有生理作用,能使照相底片感光。它与可见光一样,也是原子的外层电子受激发而产生的。紫外线的应用也极广,如荧光灯的发光就利用了紫外线使灯管内壁涂覆的荧光质受激发而发光的原理。在生物学和医学上,常用紫外线进行杀菌消毒、诱发突变、治疗皮肤病和软骨病等
65	激光 laser	指由受激辐射而得到加强的光。激光的主要特点是方向性强、单色性好和亮度高。由于这些特点,使激光获得了广泛的应用,如精确测定距离、产生干涉现象以及切割、焊接金属等。用来产生激光的装置,称为“激光器”,或称“莱塞”。常用的激光器有氮氛激光器、红宝石激光器等
66	原子 atom	原子是组成单质和化合物分子的最小微粒,由带正电荷的原子核和绕核运动的、与核电荷数相等的电子所组成。各种元素的原子具有不同的平均质量和原子结构。原子的质量几乎全部集中于原子核

(续)

序号	名词术语	含 义 说 明
67	原子核 atomic nucleus	原子核是原子的核心部分。它类似球体,带正电,是质子和中子(总称核子)的紧密结合体。原子核占有原子质量的绝大部分,但其直径不及原子直径的万分之一,约 $10^{-13}\sim 10^{-12}$ cm。元素X的原子核,常用符号 A_ZX 表示。Z代表原子核中的质子数(即电荷数),也就是该元素的原子序数;A代表核子的总数,称为质量数。现在已经知道的核超过1900种,其中有约300种是稳定的,其余的均不稳定
68	电子 electron	电子是最早发现的基本粒子。它带负电,电量为 1.602189×10^{-19} C,是电量的最小单元。电子的质量为 9.10953×10^{-31} kg。电子常用符号e表示。一切原子都是由一个带正电的原子核和围绕它运动的若干电子所组成。电子的定向移动,就形成电流
69	质子 proton	基本粒子的一种。质子是—切原子核的组成部分。原子核中所含质子的数目也就是元素的原子序数Z。质子的质量为电子的1836倍。质子带正电,其电量与电子所带电量相等
70	中子 neutron	基本粒子的一种。中子也是原子核的组成部分。中子的质量为电子质量的1838.6倍。它单独存在时不稳定,经过平均寿命约为15.3min后就衰变为质子、电子等。中子不带电,易进入原子核内部,因此在核物理的研究中,常利用中子来引起核反应。动能超过 10^3 eV(电子伏)的中子,称为快中子。动能在0.025eV左右的中子,称为热中子
71	量子 quantum	微观世界的某些物理量不能连续变化,而只能取某些分立值。相邻两分立值之差,称为该物理量的一个量子。德国物理学家麦克斯·普朗克(Max Planck,1858~1947)于1900年在研究黑体辐射时,首先发现了自然现象中的这种不连续的量子性质。他发现了物质吸收或发射的辐射能量量子,其大小为 $h\nu$ (其中h为普朗克常量, $h=6.626176\times 10^{-34}$ J·s, ν 为辐射的频率)。能量分化为量子(即所谓量子化)的现象,只是普遍自然规律中的一个例子。此外,有时也将与某种场联系在一起的基本粒子,称为该种场的量子。例如电磁场的量子就是光子(或称光量子)。每一种量子的数值都很小,所以在较大物体的运动中量子化不发生显著影响,各量好似能连续变化一样。但对电子、原子等的微观运动来说,这种量子化效应就不能忽略。对于这些微观运动,牛顿力学已不适用,必须代以从量子概念发展起来的量子力学
72	光子 photon	光子是基本粒子的一种,或称“光量子”。光子是光(电磁辐射)的能量量子。1905年德裔物理学家阿尔伯特·爱因斯坦(Albert Einstein,1879~1955)在解释光电效应时首次指出了它的存在,从而揭示了光的波粒二象性。真空中的光子在不同参考系中都以光速c运动。如果光的频率为 ν ,则光子的能量为 $h\nu$ (h为普朗克常量),动量为 $h\nu/c$ 、质量为 $h\nu/c^2$;但光子的静止质量等于零
73	基本粒子 fundamental particle	泛指比原子核还小的物质微粒,包括电子、质子、中子、光子以及在宇宙射线和高能原子核实验中发现的一系列粒子。已经发现的基本粒子有30多种,连同共振态共有300多种。每一种基本粒子都有确定的质量、电荷等。它们中多数是不稳定的,在经历一定平均寿命后转化为别种基本粒子。基本粒子有的是中性的,有的带正电或负电。电量大小与电子相同。它们的质量大小有很大差别。一般可按其质量大小及其它性质的差异而将基本粒子分为光子、轻子、介子、重子(包括核子、超子)四类。其中轻子包括中微子、电子、正电子、 μ 子;介子包括 π 介子、K介子、 η 介子;重子包括质子、反质子、中子、反中子、 Δ 超子、反 Δ 超子、 Σ 超子、反 Σ 超子、 Ξ 超子、反 Ξ 超子和 Ω 超子。基本粒子之间存在普强弱不同的相互作用,并按一定方式相互转化。必须明白,物质是无限可分的。基本粒子的概念是随着人们对物质结构认识的深化而不断发展的,不能将它们作为物质最后的、最简单的组成单元。实验结果已经显示基本粒子也还有其内部结构。关于基本粒子的内部结构,理论上各种模型和预测,如我国科学家提出的“层子模型”和国外科学家提出的“夸克模型”等,且有待进一步研究

(续)

序号	名词术语	含 义 说 明
74	基态 basic state	指微观粒子系统(如原子等)所能具有的各种运动状态中能量最低的状态。微观粒子系统处于基态时最为稳定
75	激发态 excited state	指微观粒子系统(如原子等)当其内部能量高于基态能量时所处的量子状态。原子之所以能处于激发态,是其中的电子获得能量(如吸收光子)的结果。在激发态中的原子是不稳定的,一般将通过发射光子而回复到基态
76	能级 energy level	微观粒子系统在束缚态中只能处于一系列不连续的、分立的稳定状态,这些状态分别具有一定的能量,其数值各不相同。为形象化起见,人们往往按某一比例以一定高度的水平线来代表一定的能量,并将这些状态的能量按大小排列,犹如梯级,称为“能级”
77	跃迁 transition	指微观粒子系统从某一状态(初态)到另一状态(末态)的过渡。例如一个处于能量较高的激发态的原子,因发射一个光子而过渡到能量较低的激发态或基态,这种从高能级到低能级的跃迁称为辐射跃迁。反之,当原子吸收一定能量的光子后,可以从某一较低的能级过渡到较高的能级,这种跃迁称为吸收跃迁。在跃迁过程中,吸收或发射光子的能量($h\nu$)等于两能级能量之差
78	原子能 atomic energy	即原子核能,简称核能,是原子核结构变化时放出的能量。在实用上,是指重核裂变和轻核聚变时所放出的巨大能量。物质所具有的原子能要比化学能大几百万倍到一千万倍以上。每一重核(如 U_{235})在裂变时能放出 200MeV 左右的能量。现已建成各种类型的原子核反应堆和原子能发电站。轻核聚变时所放出的能量要比同质量的重核裂变时放出的能量大几倍,而人工控制聚变反应以利用其能量的研究正在积极进行。急剧的核裂变和核聚变反应会引起爆炸,原子弹和氢弹就是分别根据核裂变和核聚变反应原理制成的
79	裂变 fission	指重原子核在受到其它粒子(如中子)轰击时分裂为质量相近的两个原子核(裂块)的过程。在裂变过程中,还可能放出若干中子。如 U_{235} 受到慢中子轰击时,裂变成氙核和锶核,同时放出两个中子和 200MeV 的能量,即 ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \longrightarrow {}_{54}^{139}\text{Xe} + {}_{38}^{95}\text{Sr} + 2{}_0^1\text{n} + 200\text{MeV}$ 裂变时所放出的能量包括裂块和中子的动能及 γ 辐射的能量
80	聚变 fusion	指轻原子核聚合为较重的原子核并放出巨大能量的过程。例如氘核(${}_1^2\text{H}$)和氚核(${}_1^3\text{H}$)就可发生聚变而结合成氦核(${}_2^4\text{He}$),并放出一个中子,同时还放出 17.58MeV 的能量,即 ${}_1^2\text{H} + {}_1^3\text{H} \longrightarrow {}_2^4\text{He} + {}_0^1\text{n} + 17.58\text{MeV}$ 由于原子核都带正电,相互间受库仑力(电场力)排斥,因此在一般条件下发生聚变的可能性很小。自然界中只有太阳等恒星内部,因温度极高,轻核才有足够的动能克服斥力而持续地进行聚变反应。人工的聚变目前只能在氢弹爆炸时或由加速器产生的高能粒子碰撞中实现。在几百万度(K)的极高温度下,轻核发生聚变的过程,称为热核反应。可控的热核反应是目前自然科学研究中的重点项目之一

(二) 常用的物理量及物理量单位

1. 国际单位制(SI)的基本单位 国家标准 GB3100—93《国际单位制及其应用》的规定如表 JC2-2 所示,其中各量符号和单位定义引自 GB3102—93 中有关标准。

表 JC2-2 国际单位制(SI)的基本单位(据 GB3100—93 和 GB3102—93)

序号	物理量名称	符号	单位名称	符号	单位定义
1	长度 length	<i>l, L</i>	米	m	米是光在真空中(1/299792458)s 时间间隔内所经路径的长度(1983 年,17 届国际计量大会决议)
2	质量 mass	<i>m</i>	千克(公斤)	kg	千克等于国际千克原器的质量(1888 年 1 届和 1901 年 3 届国际计量大会决议)
3	时间 time	<i>t</i>	秒	s	秒是铯-133 原子基态的两个超精细能级之间跃迁所对应的辐射的 9192631770 个周期的持续时间(1967 年 13 届国际计量大会决议)
4	电流 current	<i>I</i>	安[培]	A	在真空中,截面积可忽略的两根相距 1m 的无限长平行圆直导线内通以等量恒定电流时,若导线间相互作用力在每米长度上为 2×10^{-7} N,则每根导线中的电流为 1A(1948 年 9 届国际计量大会决议)
5	热力学温度 thermodynamic temperature	<i>T, (θ)</i>	开[尔文]	K	开尔文是水的三相点热力学温度的 1/273.16(1967 年 13 届国际计量大会决议)。注:①水的三相点是指水、冰和汽三相(三态)平衡共存时的温度,即 273.16K 或 0.01℃。②热力学温度过去称为绝对温度
6	物质的量 amount of substance	<i>n, (ν)</i>	摩[尔]	mol	摩尔是一系统的物质的量,该系统中所包含的基本单元数与 0.012kg 碳-12 的原子数目相等。在使用摩尔时,基本单元应予指明,可以是原子、分子、离子、电子及其它粒子,或是这些粒子的特定组合(1971 年,14 届国际计量大会决议)
7	发光强度 luminous intensity	<i>I, (I_v)</i>	坎[德拉]	cd	坎德拉是一光源在给定方向上的发光强度,该光源发出频率为 540×10^{12} Hz 的单色辐射,且在此方向上的辐射强度为 $\frac{1}{683}$ W/sr(1979 年,16 届国际计量大会决议)

注:括号中的符号为“备用符号”,供在特定情况下主符号以不同意义使用时使用(以下各表亦同)。

2. 国际单位制的辅助单位 GB3100—93 的规定如表 JC2-3 所示,其中各量符号和单位定义引自 GB3102.1—93。

表 JC2-3 国际单位制的辅助单位(据 GB3100—93 和 GB3102.1—93)

序号	物理量名称	符号	单位名称	符号	单位定义
1	[平面]角 angle, (plane angle)	$\alpha, \beta, \gamma, \theta,$ φ 等	弧度	rad	弧度是一圆内两条半径之间的平面角,这两条半径在圆周上所截取的弧长与半径相等
2	立体角 solid angle	Ω	球面度	sr	球面度是一个立体角,其顶点位于球心,而它在球面上所截取的面积等于以球半径为边长的正方形的面积

3. 国际单位制中部分具有专门名称的导出单位 GB3100—93 的规定如表 JC2-4 所示,其中各量符号引自 GB3102—93。

表 JC2-4 国际单位制中部分具有专门名称的导出单位(据 GB3100—93)

序号	物理量名称	符号	单位名称	符号	备注
1	频率	f	赫[兹]	Hz	$1\text{Hz}=1\text{s}^{-1}$
2	力	F	牛[顿]	N	$1\text{N}=1\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$
3	压力,压强	p	帕[斯卡]	Pa	$1\text{Pa}=1\text{N}/\text{m}^2$
	应力	σ			
4	能[量]	E	焦[耳]	J	$1\text{J}=1\text{N}\cdot\text{m}$
	功	$W, (A)$			
	热量	Q			
5	功率	P	瓦[特]	W	$1\text{W}=1\text{J}/\text{s}$
	辐[射能]通量	$P, \Phi, (\Phi_e)$			
6	电荷[量]	Q	库[仑]	C	$1\text{C}=1\text{A}\cdot\text{s}$
7	电压	$U, (V)$	伏[特]	V	$1\text{V}=1\text{W}/\text{A}$
	电动势	E			
	电位,(电势)	V, φ			
8	电容	C	法[拉]	F	$1\text{F}=1\text{C}/\text{V}$
9	电阻	R	欧[姆]	Ω	$1\Omega=1\text{V}/\text{A}$
10	电导	G	西[门子]	S	$1\text{S}=1\Omega^{-1}$
11	磁通[量]	Φ	韦[伯]	Wb	$1\text{Wb}=1\text{V}\cdot\text{s}$
12	磁通[量]密度,磁感应强度	B	特[斯拉]	T	$1\text{T}=1\text{Wb}/\text{m}^2$
13	电感	L	亨[利]	H	$1\text{H}=1\text{Wb}/\text{A}$
14	摄氏温度	t, θ	摄氏度	$^{\circ}\text{C}$	$1^{\circ}\text{C}=1\text{K}$
15	光通量	Φ	流[明]	lm	$1\text{lm}=1\text{cd}\cdot\text{sr}$
16	[光]照度	E	勒[克斯]	lx	$1\text{lx}=1\text{lm}/\text{m}^2$

4. 可与国际单位制单位并用的部分我国法定计量单位 GB3100—93 的规定如表 JC2-5 所示,其中各量符号引自 GB3102—93。

表 JC2-5 可与国际单位制单位并用的部分我国法定计量单位(据 GB3100—93)

序号	物理量名称	符号	单位名称	符号	备注
1	时间	t	分	min	1min=60s
			[小]时	h	1h=60min=3600s
			日,(天)	d	1d=24h=86400s
2	[平面]角	$\alpha, \beta, \gamma, \theta, \varphi$ 等	度	°	1°=($\pi/180$)rad
			[角]分	'	1'=(1/60)°=($\pi/10800$)rad
			[角]秒	"	1"=(1/60)'=($\pi/648000$)rad
3	旋转速度	n	转每分	r/min	1r/min=(1/60)s ⁻¹
4	质量	m	吨	t	1t=10 ³ kg
5	体积	V	升	L, l	1L=1dm ³ =10 ⁻³ m ³
6	能	E	电子伏	eV	1eV≈1.602177×10 ⁻¹⁹ J
7	级差	L	分贝	dB	

5. 国际单位制的词头(SI词头) GB3100—93的规定如表 JC2-6 所示。

表 JC2-6 国际单位制的词头(据 GB3100—93)

序号	因数	词头名称		词头符号	序号	因数	词头名称		词头符号
		英文	中文				英文	中文	
1	10 ²⁴	yotta	尧[它]	Y	11	10 ⁻¹	deci	分	d
2	10 ²¹	zetta	泽[它]	Z	12	10 ⁻²	centi	厘	c
3	10 ¹⁸	exa	艾[可萨]	E	13	10 ⁻³	milli	毫	m
4	10 ¹⁵	peta	拍[它]	P	14	10 ⁻⁶	micro	微	μ
5	10 ¹²	tera	太[拉]	T	15	10 ⁻⁹	nano	纳[诺]	n
6	10 ⁹	giga	吉[咖]	G	16	10 ⁻¹²	pico	皮[可]	p
7	10 ⁶	mega	兆	M	17	10 ⁻¹⁵	femto	飞[母托]	f
8	10 ³	kilo	千	k	18	10 ⁻¹⁸	atto	阿[托]	a
9	10 ²	hecto	百	h	19	10 ⁻²¹	zepto	仄[普托]	z
10	10 ¹	deca	十	da	20	10 ⁻²⁴	yocto	幺[科托]	y

6. 常用的空间、时间、周期及有关现象的量和单位 如表 JC2-7 所示。该表摘编自 GB3102.1—93《空间和时间的量和单位》和 GB3102.2—93《周期及有关现象的量和单位》。

表 JC2-7 常用的空间、时间、周期及有关现象的量和单位(据 GB3102.1~2--93)

序号	物理量名称	符 号	单位名称	符 号	备 注
1	[平面]角	$\alpha, \beta, \gamma, \theta, \varphi$	弧度	rad	其它单位:度($^{\circ}$)、分($'$)、秒($''$)
2	立体角	Ω	球面度	sr	
3	长度	l, L	米	m	①其它单位:海里(n mile) 1n mile = 1852m 埃(\AA) $1\text{\AA} = 10^{-10}\text{m}$ ②千米(km)俗称“公里”
4	宽度	b			
5	高度	h			
6	厚度	d, δ			
7	半径	r, R			
8	直径	d, D			
9	程长,距离	$s; d, r$			
10	面积	$A, (S)$	平方米	m^2	另一单位:公顷(hm^2), $1\text{hm}^2 = 10^4\text{m}^2$
11	体积	V	立方米	m^3	另一单位:升(L, L), $1\text{l} = 1\text{dm}^3$
12	时间	t	秒	s	其它单位:分(min),时(h),日(d)
13	速度	v	米每秒	m/s	一般用 v, c 用作波的传播速度。当不用矢量标志时,建议用 u, v, w 作速度 c 的分量
		c u, v, w			
14	加速度	a	米每二次方秒	m/s^2	
15	重力加速度	g			
16	角速度	ω	弧度每秒	rad/s	
17	角加速度	α	弧度每二次方秒	rad/s^2	
18	周期	T	秒	s	
19	时间常数	τ	秒	s	
20	频率	f, ν	赫[兹]	Hz	$1\text{Hz} = 1\text{s}^{-1}$
21	角频率	ω	弧度每秒	rad/s	$\omega = 2\pi f$
22	旋转频率 (转速)	n	每秒	s^{-1}	“转每分”(r/min)和“转每秒”(r/s) 广泛用作旋转机械转速的单位
23	波长	λ	米	m	另一单位:埃(\AA) $1\text{\AA} = 10^{-10}\text{m}$
24	功率[量]级	L_p	分贝	dB	1dB 是当 $10\lg(P_1/P_2) = 1$ 时的功率 量级

7. 常用的力学和热学的量和单位 如表 JC2-8 所示。该表摘编自 GB3102.3—93《力学的量和单位》和 GB3102.4—93《热学的量和单位》。

表 JC2-8 常用的力学和热学的量和单位(据 GB3102.3~4-93)

序号	物理量名称	符 号	单位名称	符 号	备 注
1	质量	m	千克(公斤)	kg	质量单位是由在“克”(g)前加词头构成。 $1g=10^{-3}kg$
2	[质量]密度,体积质量	ρ	千克每立方米	kg/m ³	ρ 是质量除以体积
3	比体积,质量体积	v	立方米每千克	m ³ /kg	v 是体积除以质量
4	力	F	牛[顿]	N	① $1N=1kg \cdot m/s^2$ ② 重量过去曾称为“重力” ③ “重量”一词按照习惯仍可用于表示质量(单位为 kg);但是,不赞成这种习惯
5	重量	$W, (P, G)$			
6	力矩,力偶矩	M	牛[顿]米	N·m	
7	转矩	M, T			
8	压力,压强	p	帕[斯卡]	Pa	① $1Pa=1N/m^2$ ② 另一单位:巴(bar) $1bar=100kPa$
9	正压力	σ			
10	截面系数	W, Z	三次方米	m ³	
11	功	$W, (A)$	① 焦[耳]	J	$1J=1N \cdot m=1W \cdot s$
12	能[量]	E	② 瓦[特][小]时	W·h	$1kW \cdot h=3.6MJ$
13	势能,位能	$E_p, (V)$			$1W \cdot h=3.6 \times 10^3J=3.6kJ$
14	动能	$E_k, (T)$	③ 电子伏	eV	$1eV=1.60217733 \times 10^{-19}J$
15	功率	P	瓦[特]	W	$1W=1J/s$
16	热力学温度	$T, (\theta)$	开[尔文]	K	过去称为“绝对温度”
17	摄氏温度	t, θ	摄氏度	°C	$t=T-T_0$ 式中 $T_0=273.15K$
18	热量	Q	焦[耳]	J	
19	热容	C	焦[耳]每开[尔文]	J/K	
20	质量热容,比热容	c	焦[耳]每千克开[尔文]	J/(kg·K)	c 是热容除以质量
21	热阻	R	开[尔文]每瓦[特]	K/W	
22	熵	S	焦[耳]每开[尔文]	J/K	

8. 常用的电学和磁学的量和单位 如表 JC2-9 所示。该表摘编自 GB3102.5—93《电学和磁学的量和单位》。

表 JC2-9 常用的电学和磁学的量和单位(据 GB3102.5—93)

序号	物理量名称	符号	单位名称	符号	备 注
1	电流	I	安[培]	A	在交流电技术中,用 i 表示电流瞬时值, I 表示有效值
2	电荷[量]	Q	库[仑]	C	电荷也可使用符号 q , $1C=1A \cdot s$

(续)

序号	物理量名称	符号	单位名称	符号	备注
3	电位,(电势)	V, φ	伏[特]	V	在交流电技术中,用 u, e 分别表示电位差(电压)、电动势的瞬时值,用 U, E 表示有效值, $1V=1W/A$
4	电位差,(电势差),电压	$U, (V)$			
5	电动势	E			
6	电场强度	E	伏[特]每米	V/m	$1V/m=1N/C$
7	电容	C	法[拉]	F	$1F=1C/V$
8	介电常数,(电容率)	ϵ	法[拉]每米	F/m	真空介电常数用符号 ϵ_0 表示 $\epsilon_0=8.854188 \times 10^{-12} F/m$
9	相对介电常数 (相对电容率)	ϵ_r	—	1	$1\epsilon_r=1\epsilon/\epsilon_0$
10	面积电流,电流密度	J, j	安[培]每平方米	A/m^2	供电技术中多使用单位 A/mm^2
11	磁场强度	H	安[培]每米	A/m	
12	磁通势,磁动势	F, F_m	安[培]	A	磁位差(磁势差)用符号 U_m ,单位亦为安[培]
13	磁通[量]密度, 磁感应强度	B	特[斯拉]	T	$1T=1N/(A \cdot m)$ $=1Wb/m^2$
14	磁通[量]	Φ	韦[伯]	Wb	$1Wb=1V \cdot s$
15	自感	L	亨[利]	H	① $1H=1Wb/A=1V \cdot s/A$ ② 自感和互感统称“电感”
16	互感	M, L_{12}			
17	磁导率	μ	亨[利]每米	H/m	① $\mu=B/H$ ② μ 又称“绝对磁导率”、“磁常数”
18	真空磁导率	μ_0			
19	相对磁导率	μ_r			
20	[直流]电阻	R	欧[姆]	Ω	$1\Omega=1V/A$
21	[直流]电导	G	西[门子]	S	$1S=1A/V=1\Omega^{-1}$
22	[交流]电阻	R	欧[姆]	Ω	阻抗的实部
23	电抗	X			阻抗的虚部
24	阻抗,(复[数]阻抗)	Z			$Z=|Z|e^{j\varphi}=R+jX$
25	阻抗模,(阻抗)	$|Z|$			$|Z|=\sqrt{R^2+X^2}$
26	[交流]电导	G	西[门子]	S	导纳的实部
27	电纳	B			导纳的虚部
28	导纳,(复[数]导纳)	Y			$Y=|Y|e^{-j\varphi}=G+jB=\frac{R-jX}{|Z|^2}$
29	导纳模,(导纳)	$|Y|$			$|Y|=\sqrt{G^2+B^2}$
30	电阻率	ρ	欧[姆]米	$\Omega \cdot m$	$\rho=RA/l$,式中 A 为面积, l 为长度

(续)

序号	物理量名称	符号	单位名称	符号	备 注
31	电导率	γ, σ	西[门子]每米	S/m	电化学中电导率用符号 κ
32	磁阻	R_m	每亨[利]	H ⁻¹	$R_m = U_m / \Phi$
33	磁导	$\Delta, (P)$	亨[利]	H	$\Delta = 1 / R_m$
34	绕组匝数	N	—	1	
35	相数	m	—	1	
36	极对数	p	—	—	GB3102.5—93 已删
37	相[位]差,相[位]移	φ	弧度	rad	
			[角]秒	(^o)	1 ^o = ($\pi/648000$)rad
			[角]分	(['])	1 ['] = 60 ^o
			度	([°])	1 [°] = 60 [']
38	品质因数	Q	—	1	
39	功率,有功功率	P	瓦[特]	W	① 在电力技术中,有功功率用瓦特(W)表示,无功功率用乏(var)表示,视在功率用伏安(V·A)表示 ② 视在功率又称表现功率。需要强调其复数性质时使用名称“复[数视在]功率”,符号为 S, P_S ;复功率模符号为 $|S|, |P_S|$
40	无功功率	Q, P_Q			
41	视在功率	S, P_S			
42	功率因数	λ	—	1	$\lambda = \cos\varphi = P/S$
43	[有功]电能[量]	W	① 焦[耳] ② 瓦[特][小]时	J W·h	1kW·h = 3.6MJ

9. 常用的光及有关电磁辐射的量和单位 如表 JC2-10 所示。该表摘编自 GB3102.6—93 《光及有关电磁辐射的量和单位》。

表 JC2-10 常用的光及有关电磁辐射的量和单位(据 GB3102.6—93)

序号	物理量名称	符号	单位名称	符号	备 注
1	辐[射]能	$Q, W, (U, Q_e)$	焦[耳]	J	1J = 1N·m
2	辐[射]功率,辐[射能]通量	$P, \Phi, (\Phi_e)$	瓦[特]	W	1W = 1J/s
3	辐[射]强度	$I, (I_e)$	瓦[特]每球面度	W/sr	
4	辐[射]照度	$E, (E_e)$	瓦[特]每平方米	W/m ²	
5	发光强度	$I, (I_v)$	坎[德拉]	cd	
6	光通量	$\Phi, (\Phi_v)$	流[明]	lm	
7	[光]亮度	$L, (L_v)$	坎[德拉]每平方米	cd/m ²	
8	[光]照度	$E, (E_v)$	勒[克斯]	lx	
9	光谱吸收比,光谱吸收因数	$\alpha(\lambda)$	—	1	符号 α, ρ, τ 分别用来表示 $\alpha(\lambda), \rho(\lambda), \tau(\lambda)$ 的加权平均值,这时“光谱”应从这些名称中除去
10	光谱反射比,光谱反射因数	$\rho(\lambda)$			
11	光谱透射比,光谱透射因数	$\tau(\lambda)$			
12	折射率	n			

(续)

序号	物理量名称	符号	单位名称	符号	备注
13	焦距	f	米	m	薄透镜的焦距,是透镜中心至焦点的距离
14	透镜焦距,(光焦度)	Φ, F	每米	m^{-1}	薄透镜的焦距 $\Phi=1/f$

(三) 力学的基本定律和公式

1. 力学的基本定律 如表 JC2-11 所示。

表 JC2-11 力学的基本定律

序号	名称	说明
1	牛顿第一定律	任何物体在没有受到外力作用时,总保持静止状态或匀速直线运动状态。物体保持静止状态或匀速直线运动状态不变的性质,称为惯性。因此这一定律亦称“惯性定律”
2	牛顿(Newton)运动定律	<p>物体受到外力(或合外力)F作用时,所获得的加速度a的大小与外力F的大小成正比,与物体的质量m成反比,即</p> $F=ma$ <p>加速度的方向与外力方向相同</p>
3	牛顿第三定律	<p>当甲物体以力F_1作用在乙物体上时,乙物体也同时以F_2作用在甲物体上,而F_1与F_2大小相等,方向相反,即</p> $F_1=-F_2$
4	能量守恒定律	能量不能消失,也不能创造,只能从一种形式转化为另一种形式,这称为“能量守恒定律”,或称“能量转化和守恒定律”
5	动量守恒定律	<p>任何物质系统在不受外力作用或所受外力之和为零时,这个系统的总动量保持不变,即在$\sum_{i=1}^n F_i=0$的条件下</p> $\sum_{i=1}^n m_i v_i = \text{恒矢量}$ <p>对于两个物体所组成的系统,动量守恒定律的数学表达式为</p> $m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2$ <p>所谓系统的总动量,指的是系统内各个物体的动量矢量和。所谓守恒,是指合矢量的大小和方向均不变。如果系统所受合外力虽不等于零,而只在某一方向上所受合外力为零,则在这个方向上的动量仍可守恒。系统内各个物体在相互作用前后的各个速度,都是对于同一参照系而言的。从宏观系统到微观系统,动量守恒定律都是适用的</p>
6	万有引力定律	<p>任何两个物体之间都存在着引力。引力(F)大小,与两个物体质量(m_1, m_2)的乘积成正比,与它们间距离(r)平方成反比,即</p> $F=G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ <p>式中,G为引力常数,$G=6.67 \times 10^{-11} \text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$</p>

2. 力学的基本公式 如表 JC2-12所示。

表 JC2-12 力学的基本公式

序号	项 目	公 式
1	静 力 学 公 式	重力 式中, m 为质量; g 为重力加速度 $G = mg$
		相对密度(比重) 式中, m 为质量; m_0 为同体积的纯水在4℃时的质量 $\gamma = m/m_0$
		密度 式中, m 为质量; V 为体积 $\rho = m/V$
		胡克(Hooke) 定律(或称虎克 定律) 式中, F 为加在弹簧上的拉力; x 为弹簧的伸长长度; k 为弹簧的倔强系数 $F = kx$
		最大静摩擦力 式中, N 为物体间的正压力; μ_0 为静摩擦系数 $f_m = \mu_0 N$
		滑动摩擦力 式中, N 为物体间的正压力; μ 为滑动摩擦系数 $f = \mu N$
		压 强 式中, F 为作用于物体上的正压力; A 为物体的受压面积 $p = F/A$
		力 矩 式中, F 为作用力; d 为力臂 $M = Fd$
		共点力平衡条件 $\Sigma F = 0$
共轴力矩平衡 条件 $\Sigma M = 0$		
2	运 动 学 公 式	匀速直线运动 式中, s 为距离; v 为速度; t 为经过时间 $s = vt$
		匀变速直线运动 式中, v_t 为末速度; v_0 为初速度; a 为加速度; t 为经过时间; s 为距离 $v_t = v_0 + at$ $s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$
		自由落体运动 式中, v_t 为末速度; g 为重力加速度; t 为经过时间; h 为落下距离 $v_t = gt$ $h = \frac{1}{2} gt^2$
		圆周运动 式中, ω 为角速度; $\Delta\phi$ 为经过弧角; Δt 为经过时间; v 为线速度; r 为圆半径; a 为向心加速度 $\omega = \Delta\phi/\Delta t$ $v = r\omega$ $a = r\omega^2 = v^2/r$

(续)

序号	项 目	公 式
3	向心力	$F = mr\omega^2 = mv^2/r$ 式中, m 为质量; r 为圆半径; ω 为角速度; v 为线速度
	动量定理	物体在时间 Δt 内的动量(mv)变化, 等于作用于物体的外力在此时间内的冲量($F\Delta t$), 即 $F\Delta t = mv_2 - mv_1$
4	功	$A = Fscos\alpha$ 式中, F 为作用力; s 为位移距离; α 为作用力与位移方向的夹角
	功 率	$P = \frac{A}{t}$ 式中, t 为作功的时间; A 为作的功
	动 能	$E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 式中, m 为质量; v 为速度
	重力势能	$E_p = mgh$ 式中, m 为质量; g 为重力加速度; h 为高度
	弹性势能	$E_p = \frac{1}{2}kx^2$ 式中, x 为弹簧的伸长长度; k 为弹簧的倔强系数
式	动能定理	外力对物体所作的功, 等于物体动能的增量, 即 $A = E_k - E_{k0} = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$ 式中, E_{k0} 为物体的初动能; E_k 为末动能; m 为物体质量; v_0 为初速度; v 为末速度

(四) 分子物理学和热力学的基本定律和公式

1. 分子物理学的基本定律和公式 如表 JC2-13所示。

表 JC2-13 分子物理学的基本定律和公式

序号	项 目	说 明 及 公 式
1	波义耳-马略特 (Boyle-Mariotte) 定律	一定质量的气体, 在温度保持不变时, 其压强(p)与体积(V)成反比, 即 $pV = \text{常数}$
2	盖·吕萨克 (Gay-Lussac)定律	① 一定质量的气体, 在压强保持不变时, 其体积(V)与热力学温度(T)成正比, 即 $V/T = \text{常数}$ ② 一定质量的气体, 在压强保持不变时, 温度每升高(或降低)1℃所增加(或减少)的体积是其0℃时体积的1/273, 即 $V_t = V_0 \left(1 + \frac{t}{273} \right)$

(续)

序号	项 目	说 明 及 公 式
3	查理(Charles)定律	<p>① 一定质量的气体,在体积保持不变时,其压强(p)与热力学温度(T)成正比,即</p> $p/T = \text{常数}$ <p>② 一定质量的气体,在体积保持不变时,温度每升高(或降低)1°C所增大(或减小)的压强是其0°C时压强的1/273,即</p> $p_t = p_0 \left(1 + \frac{t}{273} \right)$
4	气态方程	<p>全称“理想气体状态方程”,为表示一定质量的理想气体(理论上假想的一种将实际气体性质加以简化的气体;压强不太大、温度不太低的实际气体,可近似地看作理想气体)处于热动平衡状态时,压强、体积和温度三者相互关系的方程式。在任何状态下,其压强(p)和体积(V)的乘积,与其热力学温度(T)的比值为常数,即</p> $\frac{pV}{T} = \text{常数}$ <p>这常数的大小决定于气体的物质的量</p> <p>以上的波义耳-马略特定律、盖·吕萨克定律和查理定律,均为气态方程的特殊情况</p>

2. 热力学的基本定律和公式 如表 JC2-14所示。

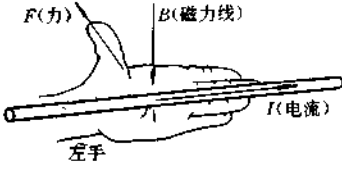
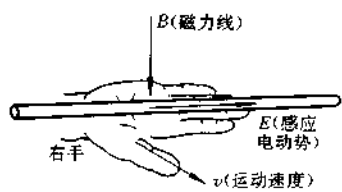
表 JC2-14 热力学的基本定律和公式

序号	项 目	说 明 及 公 式
1	热力学第一定律	<p>外界对系统所传递的热量 Q,一部分使系统的内能增加 ΔE,一部分用于系统对外所作的功 A,即</p> $Q = \Delta E + A$ <p>这一定律实质上是能量守恒和转换定律在热力学上的表现</p>
2	热力学第二定律	<p>热量总是从高温物体传递到低温物体,而不会作相反的传递。这一定律适于有限范围内的宏观过程,而不适于少量分子的微观体系,也不能推广到无限的宇宙</p> <p>这一定律说明一切与热现象有关的宏观自然过程都是不可逆的</p>
3	热力学第三定律	<p>不可能用有限的步骤使物体的温度达到热力学零度(0K,即-273.15°C)</p> <p>这一定律断定热力学零度是不可能达到的,但并不排除人们可以不断地接近热力学零度的可能性</p>
4	热量	$Q = cm\Delta t$ <p>式中,c为物质的比热容;m为物质的质量;Δt为物质升高(或降低)的温度;Q为物质吸收(或放出)的热量</p>
5	线膨胀	$l_t = l_0(1 + \alpha t)$ <p>式中,α_t为线膨胀系数;t为升高(或降低)的温度;l_0为金属线原长度;l_t为金属线变温后长度</p>
6	热效率	$\eta = \frac{Q'}{Q} \times 100\%$ <p>式中,Q'为转换为有用功的热量;Q为工作机械消耗的全部热量</p>

(五) 电磁学的基本定律、定则和公式

电磁学的基本定律、定则和公式,如表 JC2-15所示。

表 JC2-15 电磁学的基本定律、定则和公式

序号	名称	说明及公式
1	电荷守恒定律	<p>在一与外界隔离的系统内,无论进行怎样的物理过程,其中正负电荷的代数和始终保持不变。例如两个物体相互摩擦,一个物体带正电荷时,另一个物体必带等量的负电荷。又如一个电子与一个正电子在适当的条件下相遇时,会发生“湮灭”而转化为两个光子(不带电荷),正负电荷的代数和依然未变</p>
2	库仑(Coulomb)定律	<p>在真空中,两个点电荷 q_1、q_2间相互作用力 F 的大小,与 q_1、q_2的乘积成正比,与 q_1、q_2之间距离 r 的二次方成反比,即</p> $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ <p>力的方向沿着 q_1、q_2的连线,且同性电荷相斥,异性电荷相吸</p>
3	焦耳-楞次(Joule-Lenz)定律	<p>电流在一段导体中产生的热量 Q,与电流 I 的二次方、该段导体的电阻 R 及通电时间 t 三者的乘积成正比,即</p> $Q = I^2 R t$ <p>此定律亦称“焦耳定律”</p>
4	楞次(Lenz)定律	<p>闭合回路或线圈中感生电流的方向,总是要使感生电流所产生的磁场阻碍引起感生电流的磁通量的变化 此定律说明电磁现象也符合“能量守恒定律”</p>
5	法拉第(Faraday)电磁感应定律	<p>闭合回路或线圈中感应电动势的大小,与穿过闭合回路或线圈的磁通量的变化率 $d\Phi/dt$ 成正比。如果线圈的匝数为 N(闭合回路的 $N=1$),则感应电动势为</p> $e = -N \frac{d\Phi}{dt}$ <p>式中,负号反映感应电动势的方向。此式亦为楞次定律的数学表达式</p>
6	左手定则	<p>载流导体在磁场中受力的方向,与磁场方向和电流方向之间符合以下关系:伸开左手手掌,使拇指与其它四指垂直,使掌心迎着磁力线方向,四指指向电流方向,则拇指所指即为导体受力的方向 此定则亦称“电动(机)定则”</p> 
7	右手定则	<p>导体在磁场中作切割磁力线的运动时,在导体内感应电动势的方向,与导体运动方向和磁场方向之间符合以下关系:伸开右手手掌,使拇指与其它四指垂直,使掌心迎着磁力线方向,拇指指向导体运动方向,则四指所指即导体内感应电动势的方向 此定则亦称“发电(机)定则”</p> 

(续)

序号	名称	说明及公式
8	右手螺旋定则 (右手定则)	<p>①载流线圈产生的磁场(磁力线)方向,可用右手螺旋定则确定:用右手握住线圈,四指指向电流方向,则与四指垂直的拇指所指即线圈磁场(磁力线)的方向</p> <p>②载流直导体周围的磁场(磁力线)方向,也可用右手螺旋定则确定:用右手握住直导体,与四指垂直的拇指指向导体电流方向,则四指所指即直导体周围磁场(磁力线)的方向</p>

(六) 光学的基本定律和公式

光学的基本定律和公式,如表 JC2-16所示。

表 JC2-16 光学的基本定律和公式

序号	名称	说明及公式
1	照度定律	<p>当光源尺寸比光源到被照面上照度计算点的距离 l 小得多时,即光源可看作“点光源”时,被照面上的照度 E,与光源在照度计算点方向的发光强度 I_s 及光源至照度计算点的连线与受照平面的法线之间夹角 α 的余弦成正比,而与光源到照度计算点的距离 l 的二次方成反比,即</p> $E = \frac{I_s \cos \alpha}{l^2}$ <p>这一照度定律也称为照度的“距离反比二次方定律”</p>
2	反射定律	<p>光线在反射过程中遵守的规律:</p> <p>①反射光线在入射光线与法线所决定的平面内,反射光线与入射光线分居在法线的两侧</p> <p>②反射角 α 等于入射角 θ,即</p> $\alpha = \theta$
3	折射定律	<p>光线在折射过程中遵守的规律:</p> <p>①折射光线在入射光线与法线所决定的平面内,折射光线与入射光线分居在法线的两侧</p> <p>②入射角 θ 的正弦与折射角 γ 的正弦之比,对一定的两种媒质来说,为一常数,即</p> $\frac{\sin \theta}{\sin \gamma} = \text{常数}$

(七) 原子物理学的基本理论和方程

原子物理学的基本理论和方程,如表 JC2-17所示。

表 JC2-17 原子物理学的基本理论和方程

序号	名称	说明
1	原子行星模型	<p>这是原子的结构模型。按照这一模型,原子质量的大部分集中在一个带有 z 个 $+e$ 的质子 (z 为原子序数, e 表示电子电荷) 而直径约为 $10^{-15} \sim 10^{-14} \text{m}$ 的原子核中,另有 z 个 $-e$ 的电子在离核为 $10^{-14} \sim 10^{-10} \text{m}$ 的区域内,绕核沿圆形或椭圆形轨道运动,与行星绕太阳的运动相似。这一模型是卢瑟福(Ernest Rutherford, 1871~1937)在实验基础上于1911年提出的,它对原子物理学的发展起了重大作用。现在人们对原子结构已有进一步的认识,但在不少情况下,由于这一模型比较直观,因此仍广泛用作对原子结构的一种粗浅说明</p>

(续)

序号	名称	说明
2	玻尔理论	这是根据原子行星模型,运用经典运动规律和普朗克量子概念来阐述原子结构的初步理论,是丹麦科学家玻尔(Niels Henrik David Bohr,1885~1962)于1913年提出的。其理论基础是两个假设:①原子中的电子在原子核的库仑力场中绕核各按一定的轨道运动,但是只有电子运动的动量矩(mvr)等于 $h/2\pi$ (h 为普朗克常量)的整数倍时,这些轨道才是稳定的。在每一稳定的轨道中,原子具有一定的能量,这些不连续的能量值组成原子的各个能级。②原子从能量为 E_n 的能级跃迁到能量为 E_k 的能级时,将发射或吸收一定频率的光,其频率的数值为 $|E_n - E_k|/h$ 。玻尔理论对只有一个电子的氢原子的谱线规律作出了解释,但不能说明谱线的强度和偏振等现象。对于含有两个或更多个电子的原子所发出的光谱,这个理论遇到了严重的困难。因为原子中的电子具有微观粒子的运动性质,其运动已不能用经典力学而需用量子力学来进行描述。然而玻尔理论的部分成就在历史上曾起了很大的作用
3	爱因斯坦质能方程	<p>物体的质量与能量间的下列当量关系,称为爱因斯坦质能方程</p> $E = mc^2$ <p>式中,c 为真空中光速;m 为物体质量;E 为物体能量 由以上质能方程也可导出质量亏损 Δm 与核结合能 ΔE 之间的关系如下</p> $\Delta E = \Delta mc^2$ <p>例如 ${}^4_2\text{He}$ 的质量亏损 $\Delta m = 0.030377$ 原子质量单位,而1原子质量单位相当于 931.5MeV 的能量,因此其核结合能 $\Delta E = 28.3\text{MeV}$</p>

(八) 常用的物理常数

常用的物理常数,如表 JC2-18 所示。

表 JC2-18 常用的物理常数

序号	名称	符号	数值	备注
1	真空中光速	c	$2.99792458 \times 10^8 \text{m/s}$	计算用 $3 \times 10^8 \text{m/s}$
2	空气中音速(20℃,1atm)	v	331m/s	atm 即标准大气压 1atm = 101325Pa
3	标准重力加速度	g	9.80565m/s^2	计算用 9.81m/s^2
4	引力常数	G	$6.67259 \times 10^{-11} \text{N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$	
5	1mol 气体体积(标准状态)	V	22.4L/mol	
6	基本电荷	e	$1.602189 \times 10^{-19} \text{C}$	
7	静电力常数	K	$9.0 \times 10^9 \text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$	
8	法拉第常数	F	$9.6485 \times 10^4 \text{C/mol}$	计算用 $9.65 \times 10^4 \text{C/mol}$
9	电子的静止质量	m_e	$0.911 \times 10^{-30} \text{kg}$	
10	质子的静止质量	m_p	$1.673 \times 10^{-27} \text{kg}$	
11	中子的静止质量	m_n	$1.675 \times 10^{-27} \text{kg}$	
12	电子的半径	r	$2.82 \times 10^{-15} \text{m}$	
13	普朗克常量	h	$6.626176 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$	计算用 $6.63 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$
14	电子伏	eV	$1.60217733 \times 10^{-19} \text{J}$	电子伏是能量的单位
15	真空电容率	ϵ_0	$8.854188 \times 10^{-12} \text{F/m}$ 或 $\frac{10^{-9}}{36\pi} \text{F/m}$	
16	真空磁导率	μ_0	$4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$	
17	热力学零度	T_0	-273.15℃	过去称“绝对零度”

主要参考文献

- 程守洙,江之永主编.普通物理学.北京:高等教育出版社,1982
- 国家标准 GB3100~3102-93量和单位.北京:中国标准出版社,1994
- 辞海编委会编.辞海.上海:上海辞书出版社,1989
- 本辞典编写组编.中学生科学辞典.郑州:河南人民出版社,1983

三、化学基础(JC3)

(一) 常用的化学名词术语

供电技术中较常用的化学名词术语,如表 JC3-1 所示。

表 JC3-1 常用的化学名词术语

序号	名词术语	含义说明
1	元素 element	指化学元素。同一元素的原子具有相同的核电荷数。例如氢(H)、氧(O)、硫(S)、铜(Cu)等都是元素,不论它们以单质或以化合物形式存在,它们的核电荷数分别为 1、8、16、29 而不变。相同元素的原子组成单质,不同元素的原子则相互化合而成化合物。现在已发现的元素有 112 种,其中有一部分是人工制得的放射性元素
2	原子 atom	原子是化学变化中的最小微粒。其结构介绍详见前面表 JC2-1 序号 66
3	分子 molecule	物质中能够独立存在并保存该物质一切化学性质的最小微粒。单质分子由相同元素的原子组成,而化合物分子则由不同元素的原子组成
4	离子 ion	指原子失去或获得电子后所形成的带电粒子。带电的原子团也称为“离子”。带正电荷的离子称为“正离子”或“阳离子”;带负电荷的离子称为“负离子”或“阴离子”。离子与原子或分子的性质不同,例如金属钠,呈银白色,能与水起剧烈反应,生成氢氧化钠和氢气,而钠离子、无色,也不能与水起反应
5	原子团 elementide	指几个原子结合而成的一个集团。在许多化学反应中,原子团(含离子)作为一个整体参加
6	功能团 functional group	指有机化合物分子结构中能反映出特殊性质的原子团,或称“官能团”。如含有氨基(-NH ₂)的化合物呈碱性,含有羧基(-COOH)的化合物呈酸性等
7	游离基 free radical	化合物分子中的共价键,受到外界(如光、热等)的影响,分裂成为含有不成对价电子的原子或原子团,这种原子和原子团称为“游离基”或“自由基”。游离基活性很大,通常不稳定,容易自行结合成稳定的分子或与其它物质反应而产生新的游离基
8	单质 simple substance	指由同一种元素组成的物质。有的单质由原子构成,如铁、铜、铝等。有的单质由分子构成,如氧气、氢气等
9	化合物 chemical compound	指由两种或两种以上元素的原子或离子组合而成的物质。每种化合物具有一定的特性,既不同于它所含的元素或离子,也不同于其它化合物。化合物可分为有机化合物和无机化合物两大类。化合物与混合物有本质的区别。化合物已不再具有组成它的各元素单质状态的性质,而且组成化合物的元素只能用化学方法才能分离
10	同位素 isotope	原子中具有相同的质子数和不同的中子数的同一元素的原子,互称为同位素。它们的化学性质几乎相同。在化学元素周期表内占同一位置。大多数元素都有同位素
11	放射性同位素 radio isotope	原子核不稳定,能自发地放出 α 射线、 β 射线或通过 K 电子俘获等方式而进行蜕变的同位素,称为放射性同位素。在放出 α 射线或 β 射线的同时,一般还有 γ 射线(能量大的光子)放出。现在已知的放射性同位素有 2000 种左右,其中绝大多数是人工产生的

(续)

序号	名 词 术 语	含 义 说 明
20	非极性分子 nonpolarized molecule	分子中的电荷分布均匀,正电荷重心与负电荷重心重合的分子称为非极性分子或非偶极分子。由同种元素的两个原子所组成的双原子分子是非极性分子。对于多原子分子来说,是否为极性分子是由键的极性和分子的空间结构两个因素决定的。例如 CCl_4 分子中,4个共价键都是极性键,但是这个分子具有对称结构,4个键的极性相互抵消,因而这个分子也是非极性分子。而 CHCl_3 分子却是一个极性分子
21	溶剂 solvent	指能溶解其它物质的物质,亦称“溶媒”。水是应用最广的溶剂。汽油、乙醇(酒精)、丙酮、氯仿、苯等是常用的有机溶剂
22	溶质 solute	指溶解在溶剂中的物质。例如食盐水中的食盐,碘酒中的碘等。溶质在溶液中以分子、离子或原子的状态存在
23	溶液 solution	指由两种或两种以上不同的物质所组成的均匀物系,亦称“溶体”。在此物系中的任何部分都具有相同的性质。溶液根据其形态分为液态和固态两种:液态溶液如食盐水、糖水等;固态溶液如铜镍合金等。一般的溶液,是指水溶液。根据溶液中溶质的含量多少,分为浓溶液和稀溶液。根据溶质在溶液中的含量等于或小于一定温度和压力下的溶解度,又可分为饱和溶液和不饱和溶液
24	溶解度 solubility	在一定温度和气压下,100g 溶剂中达到饱和时溶质被溶解的 g 数,称为该溶质在该溶剂中的“溶解度”
25	B 的浓度 concentration of B B 的物质的量浓度 amount-of-substance concentration of B B 的质量浓度 mass concentration of B B 的质量分数 mass fraction of B	某溶质 B 的物质的量除以混合物(溶液)的体积,称为“B 的浓度”或“B 的物质的量浓度”,过去称“摩尔浓度”,符号 c_B ,单位为 mol/L。B 的质量除以混合物的体积,称为“B 的质量浓度”,符号 ρ_B ,单位为 kg/L。溶质 B 的质量与混合物的质量之比,称为“B 的质量分数”,符号 w_B ,通常用百分数表示
26	悬浮液 suspension	指固态溶质的微粒受机械作用比较均匀地分散到整个溶剂中的一种溶液,其分散微粒是大量分子的集合体,直径大于 $1 \times 10^{-7} \text{m}$,亦称“悬浊液”。悬浮液混浊,不透明,不稳定,静置一段时间后,溶质与溶剂分离
27	乳状液 emulsion	指液态溶质的微粒受机械作用比较均匀地分散到整个溶剂里去,分散微粒是大量分子的集合体,直径小于 $1 \times 10^{-7} \text{m}$ 。这种溶液亦称“乳浊液”。乳状液混浊,不透明,但比较稳定,特别是加入乳化剂以后
28	酸 acid	指能在水溶液中电离产生氢离子(H^+)的化合物。其水溶液有酸味,能使石蕊试纸变红。酸能与碱中和而生成盐和水,并能与某些金属化合而产生氢和盐,如硫酸、盐酸等
29	酸根 acid radical	指在酸分子中,与氢原子相结合的原子或原子团。如硫酸根 SO_4 、硝酸根 NO_3 等
30	酸值 acid value	指中和 1g 有机物质中的酸性成分所耗用的氢氧化钾的毫克数。主要用于测定油脂中游离脂肪酸的含量

(续)

序号	名 词 术 语	含 义 说 明
46	电介质 dielectric	指不导电的物质。电介质具有电绝缘(介电)性能,且在外电场作用下会产生极化现象。当外电场超过其介电强度时,它就会被击穿而失去介电性能
47	电离 ionization	指中性分子或原子形成能自由移动的离子的过程,亦称“游离”。电离有两种情况:①气体的电离——中性的原子或分子受到高能粒子或高温等因素的作用而失去电子的过程。②电解质在溶液中的电离——主要是电解质分子由溶剂分子的作用而产生的。一般所说的电离,是指电解质溶于水或熔化状态下,离解为自由移动的离子的过程
48	电解 electrolysis	指电流通入电解质溶液或熔融电解质中,使在两个电极上或电极附近同时产生化学反应的过程。通电时,溶液或熔体中的正离子向阴极迁移,负离子向阳极迁移;同时在阴极上起还原反应。产生新物质,在阳极上起氧化反应,也产生新物质
49	电镀 electroplate	指为了防止金属制件的锈蚀,增加其耐用性和美观,借电解作用,在金属制件的表面上沉积一薄层其它金属的方法。电镀包括镀前处理(去油、去锈)、镀上金属层及镀后处理(钝化、去氢)等过程。电镀时,将金属制件作为阴极,所镀的金属作为阳极,浸入含有镀层成分的电解液中,并通以直流电
50	钝化 passivation	指金属经阳极氧化或化学方法(如强氧化剂反应)处理,由活泼态转变为不活泼态(钝态)的过程。钝化后的金属(如在浓硝酸中浸过的铁)由于表面形成紧密的氧化物保护膜,不易锈蚀
51	电池 cell	指能将其它形式的能转变为电能的一种装置,包括化学电池、太阳能电池、光电池、原子电池等
52	原电池 primary cell	指将化学能转变为电能的装置。原电池在放完电以后,不能充电复原使用
53	蓄电池 battery	指放电后经充电能复原继续使用的化学电池。在供电系统中,过去多用铅酸蓄电池,现多采用镍镉蓄电池
54	物理性质 physical property	指物质不需要发生化学变化就表现出来的性质。如物质的颜色、状态、气味、味道、熔点、沸点、硬度、密度、溶解性、导电性、导热性等
55	化学性质 chemical property	指牵涉到物质分子(或晶体)化学组成的改变,只在化学反应中才能表现出来的性质。如酸性、碱性、氧化性、还原性、化学稳定性等
56	物理变化 physical change	指没有新的物质形成、只有形态改变的一种变化。在发生物理变化时,物质的组成和化学性质并不改变,例如水的蒸发、糖的溶解等
57	化学变化,化学反应 chemical change, chemical reaction	指物质变化时生成了其它物质的变化,或称“化学反应”。如煤炭燃烧、钢铁生锈等。在化学变化过程中,常伴有发热、发光、变色、放出气体、生成沉淀等现象
58	化学式 chemical formula	指用化学元素符号表示各种物质的化学组成的式子,包括分子式、结构式等等
59	分子式 molecular formula	指用化学元素符号表示单质或化合物一个分子中所含一种或各种元素的原子数目的式子。化合物的分子式不仅表示该化合物中元素的原子数比例,同时也能确切地代表该化合物一个分子的组成。例如氧气分子由两个氧原子组成,分子式为 O_2 ;水由两个氢原子、一个氧原子组成,分子式为 H_2O

(续)

序号	名 词 术 语	含 义 说 明
60	结构式 structure formula	<p>指用化学元素符号表示化合物分子中各直接相连原子的价键及排列次序的式子,因此在一定程度上反映出真正的分子结构和性质。每一化合物的结构式,是通过化学和物理的方法确定的。例如,符合分子式 $C_2H_4O_2$ 的化合物有下列两种:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>① 乙酸</p> $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{O} \\ | \quad || \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{OH} \\ | \\ \text{H} \end{array}$ </div> <div style="text-align: center;"> <p>② 甲酸甲酯</p> $\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{H} \\ || \quad | \\ \text{H}-\text{C}-\text{O}-\text{C}-\text{H} \\ | \\ \text{H} \end{array}$ </div> </div> <p>上述乙酸和甲酸甲酯是完全不同的两种化合物,这从分子式看不出来,必须从结构式才能看出其区别</p>
61	化合价,原子价 valence, atomicity	<p>一种元素的一个原子能与一定数目的氢原子(或其它一价元素的原子)相化合或置换出一定数目的氢原子,此数目就称为该元素的化合价或原子价。一种元素可具有一种或几种化合价</p>
62	化学键 chemical bond	<p>表示分子或原子团中,各原子间因电子配合关系而产生的相互结合的一种形式。化学键通常分为离子键和共价键两种基本类型。离子键指依靠正负离子间静电引力所形成的化学键。共价键指两个原子结合时每个原子供给一个电子形成共有的电子对而产生的化学键</p>
63	摩尔质量 molar mass	<p>表示单位物质的量所具有的质量,符号为 M。 $M=m/n$, 这里 m 为物质的质量, n 为物质的量(mol 数)。 M 的单位为 kg/mol。例如氢原子(H)的摩尔质量是 0.001kg/mol, 氢气(H_2)的摩尔质量是 0.002kg/mol, 氧气(O_2)的摩尔质量是 0.032kg/mol, 水(H_2O)的摩尔质量是 0.018kg/mol</p>
64	相对原子质量 relative atomic mass	<p>过去称为“原子量”,是各种元素的相对质量。元素的相对原子质量是元素的平均原子质量与核素^{12}C原子质量的 $1/12$ 之比,符号为 A_r。例: $A_r(\text{H})=1.008$, $A_r(\text{O})=16$, $A_r(\text{Cu})=63.55$</p>
65	相对分子质量 relative molecular mass	<p>过去称为“分子量”,是物质的分子的平均质量与核素^{12}C原子质量的 $1/12$ 之比,符号为 M_r。例如 $M_r(\text{H}_2)=2.016$, $M_r(\text{O}_2)=32$, $M_r(\text{Cu})=63.55$</p>
66	核素 nucliein	<p>指具有确定电荷数(质子数,亦即原子序数)Z 和中子数 N 的原子核所对应的原子。例如天然存在的铀元素由 3 种核素组成,它们的 Z 都等于 92(即核内有 92 个质子),而中子数 N 分别为 142、143 和 146,因而质量数($Z+N$)分别等于 234、235 和 238。这三种核素合称为铀的同位素,它们的化学性质相同而核性质不同,其中铀 235 可直接用作核燃料,另两种则不能。天然存在的核素有 330 多种,再加上用反应堆和加速器人工制造的,核素总数现已超过 1900 种</p>
67	化学方程式 chemical equation	<p>指用反应物和生成物的化学式表示化学反应始态和终态的方程式,或称“化学反应式”。反应物的化学式写在左边,生成物的化学式写在右边,各元素在方程式两边的原子数目必须相等。例如氢气与氧气化合生成水的化学方程式为</p> $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$ <p>方程式两边的氢、氧元素的原子数目分别相等。化学方程式不仅能表示出反应物和生成物的种类,还可以表示出它们的相互重量关系,如果是气体物质,同时还表示出它们的相互体积关系</p>

(续)

序号	名 词 术 语	含 义 说 明
68	电离方程式 ionization equation	指用以表达电解质电离成离子的化学方程式。强电解质用“=”号,例如 $\text{NaCl}=\text{Na}^++\text{Cl}^-$ 。弱电解质用“ \rightleftharpoons ”号,例如, $\text{NH}_3+\text{H}_2\text{O}\rightleftharpoons\text{NH}_4^++\text{OH}^-$
69	化合反应 combination reaction	指由两种或两种以上单质或化合物生成一种成分比较复杂的化合物的反应。一般表示为 $\text{A}+\text{B}=\text{AB}$
70	分解反应 decomposition reaction	指一种化合物分裂成两种或两种以上成分较简单的化合物或单质的反应。一般表示为 $\text{AB}=\text{A}+\text{B}$
71	置换反应 displacement reaction	指一种单质替换化合物中一种原子或原子团而形成另一种单质的反应。一般表示为 $\text{A}+\text{BC}=\text{AC}+\text{B}$
72	复分解反应 double decomposition reaction	指两种电解质相互交换离子,生成两种新的电解质的反应。一般表示为 $\text{AB}+\text{CD}=\text{AD}+\text{BC}$
73	中和反应 neutralization reaction	指一电解质的氢离子与另一电解质的氢氧根离子相结合,生成水的化学反应。中和反应的产物为盐和水。广义的中和反应为酸与碱混合时所发生的化学反应
74	化学分析 chemical analyse	指确定物质化学成分或组成的方法,分为定性分析和定量分析。定性分析是鉴定物质的成分,分析其中含有哪些元素、离子或功能团等,但不能确定其含量。定量分析是测定物质中各种成分的含量
75	物质的鉴定 appraise of substance	鉴定是依据一种物质的特性,检验它是不是这种物质的方法
76	物质的鉴别 distinguish of substance	鉴别是依据几种物质的特性,区别它们各是什么物质的方法
77	化学试剂 chemical reagent	广义指为实现化学反应而使用的化学药品;狭义指化学分析中为测定物质的成分或组成而使用的纯粹化学药品。化学试剂按纯度分为:①优级纯(一级品),适用于精密分析和科学研究工作。②分析纯(二级品),适用于重要分析和一般研究工作。③化学纯(三级品),适用于工矿学校一般分析工作。此外,还有实验试剂,供一般化学实验用。通常每种试剂都有一定的质量标准
78	试纸 test paper	指浸有指示剂或试剂的干小纸条,用以检验溶液的酸碱性 and 某种化合物或离子的存在。例如石蕊试纸、广泛 pH 试纸、碘化钾淀粉试纸。其中石蕊试纸是应用最广的一种。石蕊试纸浸的是石蕊试剂,它有红色和蓝色两种,红色试纸在碱性溶液中变蓝色;蓝色试纸在酸性溶液中变红色。它在化学试验和工业生产中常用以鉴定溶液的酸碱性
79	广泛 pH 试纸 extensive pH test paper	又称“pH 万用试纸”。该试纸由滤纸浸透几种酸碱指示剂的混合溶液制成。它遇不同酸度的溶液显示出不同的颜色,用以测定溶液的 pH 值。此试纸使用方便,但精确性较差
80	pH 值 pH value	pH 值是表示溶液中氢离子(H^+)浓度的一种方法,pH 代表氢离子浓度的负常用对数,即 $\text{pH}=-\lg[\text{H}^+]$ 。根据 pH 值就可计算出溶液中氢离子的浓度 $[\text{H}^+]=10^{-\text{pH}}$

(二) 化学元素周期表与元素性质

1. 化学元素周期表 如表 JC3-2 所示(见文后插图)。
2. 从元素周期表看元素性质 如表 JC3-3 所示。

表 JC3-3 元素周期表反映的元素性质

序号	项 目	说 明
1	元素周期表的周期反映的元素性质	① 元素所处的周期数=该元素原子的电子层数 ② 从左至右,主族元素的金属性逐渐减弱,而非金属性逐渐增强(注:在化学反应中,原子失去电子的能力称为元素的金属性,而获得电子的能力称为元素的非金属性)
2	元素周期表的族反映的元素性质	① 元素所处的族数(包括主族及Ⅰ _B 、Ⅱ _B 副族)=元素原子最外层电子数=元素的最高化合价 ② 零族元素原子最外层电子数为8个或2个,处于稳定饱和状态,因此零族元素为惰性元素 ③ 同族元素具有相似的化学性质: I _A 族——碱金属元素(除H外) II _A 族——碱土金属元素 III _B 族——稀土元素(除镧系外) VI族——卤族元素(简称卤素) 0族——惰性元素,又称稀有气体元素 ④ 主族元素从上到下,金属性逐渐增强,非金属性逐渐减弱;副族(除III _B 外)从上到下,金属性略有减弱

(三) 化学的基本定律、法则

化学的基本定律、法则,如表 JC3-4 所示。

表 JC3-4 化学的基本定律、法则

序号	名 称	内 容 说 明
1	物质不灭定律(质量守恒定律)	参加化学反应的各物质的质量总和,等于反应后生成的各物质的质量总和
2	波义耳(Boyle)-马略特(Mariotte)定律	在恒温时,一定量气体的体积与压力成反比,即 $p_1V_1 = p_2V_2 = \dots = pV = \text{常数}$
3	盖·吕萨克(Gay-Lussac)定律	在恒压时,一定量气体的体积与绝对温度成正比,即 $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \dots = \frac{V}{T} = \text{常数}$
4	阿佛加德罗(Avogadro)定律	在同温同压下,相同体积的任何气体都含有相同的摩尔数或分子数
5	稀释定律	稀释前和稀释后,溶液里溶质的总质量不变
6	定组成定律(定比定律)	每一化合物组成元素的重量,都有一定的比例,即任何纯净的化合物都有固定的组成
7	倍比定律	若甲乙两种元素化合形成几种化合物,则在这些化合物中,与一定重量的甲元素化合的乙元素的重量,互成简单的整数比
8	化合价法则	在化合物里,正、负化合价的代数和应等于零

(四) 部分常见的单质和化合物

1. 供电技术中部分常见的单质 如表 JC3-5 所示。

表 JC3-5 部分常见的单质

序号	名称	符号	性能说明
1	铜	Cu	化学元素。原子序数 29。淡红色金属。密度 8.92g/cm ³ 。铜富延展性,是电、热的良导体。纯铜的电导率达 58MS/m,仅次于银。在干燥空气中稳定。有二氧化碳及湿气存在时,表面上会生成绿色的碱式碳酸铜(俗称“铜绿”)。铜不溶于非氧化性稀酸,但能与硝酸、浓硫酸作用。当与空气接触,或有氯化剂存在时,也能溶于盐酸、稀硫酸等中。铜是重要的导电材料
2	铝	Al	化学元素。原子序数 13。银白色轻金属,俗称“铝精”。密度 2.70g/cm ³ 。延展性很好。铝的合金质轻而坚韧。导电、导热性强。纯铝的电导率为 35.4MS/m。其化学性质活泼,溶于酸或碱而放出氢气。在空气中,铝的表面形成氧化铝薄膜,可起保护膜作用。铝在自然界中以复杂的硅酸盐形态存在,含量占地壳总量约 8.8%。铝一般由氧化物与冰晶石(Na ₃ AlF ₆)共熔电解制得。铝也是重要的导电材料
3	铁	Fe	化学元素。原子序数 26。密度 7.86g/cm ³ 。延展性良好。纯铁的磁化和去磁都很快。含有杂质的铁在潮湿空气中易生锈。铁能溶于稀酸。浓硝酸或浓硫酸能使铁“钝化”。其加热时能与卤素、硫、磷、硅、碳等非金属反应,但与氮不能直接化合,氮化铁需在氮气中加热生成。铁的化合价一般为+2和+3。工业上根据铁中含碳量的不同,可分为“生铁”(亦称“铸铁”,含碳量 w _C 2%以上)和“工业纯铁”(含碳量 w _C 一般在 0.04%以下)。含碳量 w _C 在 0.04%~2%之间的铁称为“钢”。钢、铁是现代工业中最重要的基础材料,含硅量 w _{Si} 1%~4.5%的硅钢轧制的硅钢片是电机电器中最常用的导磁材料。钢铁有一定的导电性,某些情况下也用作导电材料
4	铅	Pb	化学元素。原子序数 82。银白色金属。密度 11.3g/cm ³ 。熔点 327.5℃。延性弱而展性强。能溶于硝酸,但在稀盐酸及硫酸中几乎不溶解。可作耐硫酸腐蚀、防 X 射线、和蓄电池等的材料。其合金可作铅字、轴承及电线电缆包皮等之用
5	锡	Sn	化学元素。原子序数 50。有白锡、灰锡和脆锡等三种同素异形体。常见的是白锡,银白色金属,密度 7.35g/cm ³ ,富有展性,但遇剧冷即变为粉末状的灰锡,密度降为 5.75g/cm ³ 。温度在 160℃以上时,白锡始转变为脆锡。白锡可制家用器皿,也可镀于铜和铁上。铜触头镀锡可改善其电接触性能。镀锡的铁片,称为“马口铁”。锡在化合物中有二价和四价两种,二价锡的化合物如二氧化锡是还原剂。锡是常用的电焊材料。铅锡合金丝还是某些低压熔断器的熔体材料
6	锌	Zn	化学元素。原子序数 30。青白色金属。密度 7.14g/cm ³ 。在空气中易氧化,但覆上一层氧化锌薄膜后,即可避免进一步腐蚀。与酸或强碱都能发生反应,放出氢气。锌是制造干电池的重要材料,又是某些低压熔断器的熔体材料。镀锌铁(俗称“白铁”)在工业和供电系统中也应用很广
7	钨	W	化学元素。原子序数 74。灰黑色金属。密度 19.3g/cm ³ ,熔点 3400℃±20℃,是最难熔的金属。硬度高,延性强,性稳定。常温下不受空气侵蚀,不与盐酸或硫酸作用。只有在其赤热时会在空气中氧化及与蒸汽发生反应。其主要用于制造高速切削合金钢。钨丝是重要的灯丝材料
8	银	Ag	化学元素。原子序数 47。白色金属。密度 10.5g/cm ³ 。富延展性,是导电、导热性能极好的金属,电导率达 61.5MS/m,但价昂,属贵金属。化学性质稳定。某些熔断器采用银丝作熔体材料。某些电气触头镀银或镶银,可改善其电接触性能

(续)

序号	名称	符号	性能说明
9	镍	Ni	化学元素。原子序数 28。银白色金属。密度 8.9g/cm^3 。熔点 1453°C 。性坚韧,有磁性和良好的可塑性。在空气中不被氧化,可溶于硝酸。其主要用于制造镍铬钢、镍钢及各种有色金属合金。镍铬丝具有较大的电阻和耐热性,常用作电炉、电烙铁等的电热元件。镍也用于电镀和蓄电池。镍丝作灯泡电极
10	铬	Cr	化学元素。原子序数 24。银灰色金属。密度 7.2g/cm^3 。硬度极高,抗腐蚀。其主要用于电镀和制造特种钢如不锈钢等。镍铬丝用作电炉、电烙铁等的电热元件
11	镉	Cd	化学元素。原子序数 48。银白色金属。密度 8.64g/cm^3 。富延展性,溶于酸。用于电镀和制造合金及镉镍蓄电池等,并可作原子核反应堆的中子吸收棒
12	钼	Mo	化学元素。原子序数 42。银白色金属。密度 10.2g/cm^3 。熔点 2610°C 。钼丝用于电火花切割,并广泛用作灯泡内灯丝的支架。钼片用来制造无线电技术和 X 射线器材。合金钢中加钼可提高其弹性极限、抗腐蚀性能及保持永久磁性等
13	钠	Na	化学元素。原子序数 11。银白色软金属。密度 0.97g/cm^3 。燃烧时火焰呈黄色。钠蒸气的光谱,主要是黄色光,因此钠灯的光几乎集中在对人眼视觉较敏感的黄光区域,从而光效较高。钠的化学性质活泼,遇水会剧烈反应,并放出氢气,一般保存在煤油中。电解熔融的氢氧化钠或氯化钠(食盐),可制得金属钠。金属钠在常温下的电阻率相当小(比铁的电阻率约小一倍,但比铝和铜的电阻率高),而在高温下钠气化后其电阻率却变得很大。利用这一特性,金属钠可用来制作自复式熔断器的熔体
14	钙	Ca	化学元素。原子序数 20。银白色轻金属。密度 1.55g/cm^3 。化学性质活泼,能与水或与酸反应而放出氢气。在自然界中以化合态大量存在,如大理石、石灰岩、石膏等
15	铈	Sc	化学元素。稀土元素之一。原子序数 21。银白色软金属。密度 2.99g/cm^3 。易溶于酸。一般在空气中迅速氧化而失去光泽。用来制特种玻璃及轻质耐高温合金等,也是新型铈钠灯的材料
16	镝	Dy	化学元素。稀土元素之一。原子序数 66。有光泽的软金属。有延展性。密度 8.54g/cm^3 。熔点 1407°C 。与水缓慢起作用。溶于稀酸。盐类呈黄色,氧化物呈白色。镝镱混合硫化物或硒化物用作红外发生器材,也用于激光材料及核工业,又是新型镝灯的材料
17	碳	C	化学元素。原子序数 6。同素异形体有金刚石、石墨和无定形碳。在常温下很稳定。高温时能与许多元素反应。碳的化合物很多,除一氧化碳、二氧化碳、碳酸盐及碳化物等外,其它都列入有机化合物一类。在铸铁、钢中,碳是一个重要的组成部分。石墨是制造电极和电刷的常用材料
18	硅	Si	化学元素。旧名“矽”。原子序数 14。密度 2.33g/cm^3 。为一种重要的半导体材料。硅有两种同素异形体:一种为暗棕色无定形粉末,性质较活泼,在空气中能燃烧;另一种为性质稳定的晶体(晶体硅)。多晶硅可用来控制单晶硅。掺有特定微量杂质的单晶硅制成的大功率晶体管、整流管及光电池,较之用单晶硅制作的好。硅钢(矽钢)片是电机电器工业的重要导磁材料
19	硒	Se	化学元素。原子序数 34。硒有无定形和晶体两种同素异形体。前者呈红色,性脆。后者呈灰色。硒是单质半导体,可制光电池、整流器、光度计、光学仪器等
20	氟	F	卤族元素之一。原子序数 9。分子式为 F_2 。浅黄绿色气体。有令人不快的气味。是非金属中最活泼的元素。氧化能力很强。能分解水,生成臭氧和氟化氢。几乎能与所有金属、非金属剧烈反应而生成氟化物。有极强的腐蚀性,有毒。含氟的塑料、橡胶等高分子化合物具有特别优良的性能。六氟化硫(SF_6)气体具有优良的电气性能,是重要电气绝缘灭弧介质

(续)

序号	名称	符号	性能说明
21	氯	Cl	卤族元素之一。原子序数 17。分子式为 Cl_2 。黄绿色气体。有剧烈窒息性臭味。氧化能力很强,能与许多金属、非金属化合而生成氯化物。溶于水和碱溶液,易溶于二硫化碳和四氯化碳等有机溶剂。有毒。一般工作场所空气中含氯量 ρ 不得超过 0.0001mg/L。可用于制农药、漂白剂、消毒剂、塑料和合成盐酸等
22	溴	Br	卤族元素之一。原子序数 35。分子式为 Br_2 。棕红色发烟液体。在 $-7^\circ C$ 时固化为带有金属光泽的黄绿色物质,与碘相似。溶于酒精、乙醚、氯仿、苯和二硫化碳中,稍溶于水,也溶于盐酸、氢溴酸和溴化钾溶液中。蒸气对粘膜有刺激作用,能引起流泪、咳嗽、头晕、头痛和鼻出血,浓度较高时还会引起窒息和支气管炎。化学性质与氯相似,但活泼性稍差。主要用于制溴化物、药物及染料等
23	碘	I	卤族元素之一。原子序数 53。分子式为 I_2 。紫灰色晶体,带有金属光泽。性脆,易升华。蒸气呈紫色。难溶于水,但溶于碘化钾的水溶液及苯、二硫化碳、酒精等有机溶剂中。碘的酒精溶液称为碘酊或碘酒,用作消毒剂。碘钨灯是在特制的白炽灯内充碘,利用“碘钨循环”原理来提高灯的光效和使用寿命(参看表 ZY10-5。序号 1.2)
24	氢	H	最轻的化学元素。原子序数 1。由 3 种同位素组成,质量数为 1 的氕(读“撇”,占 99.98%),质量数为 2 的氘(读“刀”,约占 0.02%)和质量数为 3 的氚(读“川”,占极微量)。其分子式为 H_2 。它无色无臭气体。很难液化,也难溶于水。在常温下不活泼,但在高温时或有催化剂时则十分活泼。能燃烧,与氧化合而生成水,并能与许多金属和非金属化合生成氢化物。氢是合成氨、制盐酸和有机化合物中的原料,也可作高温用的氢氧焰。由于其沸点($-252.8^\circ C$)较低,可用于获得低温,并可用作高能燃料。固态氢具有金属性,并有超导性能。自然界的氢主要存在于化合物中,如水、碳氢化合物等
25	氧	O	化学元素。原子序数 8。氧气分子式为 O_2 ,臭氧分子式为 O_3 。氧气为无色无臭气体,在大气中约占 21%。能被液化和固化。液氧呈天蓝色。固氧为蓝色晶体。微溶于水。在常温下不很活泼,但在高温时十分活泼,能与许多元素化合。氧是燃烧过程和动植物呼吸所必需的气体。氧气用于获得高温火焰如氢氧焰、氧炔焰等。氧气在工业上和医疗上都应用很广
26	氮	N	化学元素。原子序数 7。分子式为 N_2 。无色无臭气体,在大气中约占近 4/5。化学性能不活泼,可用于填充电灯泡,或用作阻止氧化、挥发、易燃物质的保护气体。在高温时能与锂、镁、钛等元素化合生成氮化物。雷电发生时,大气中的氮和氧有一部分化合为一氧化氮。某些细菌(包括根瘤菌)、蓝藻也能将空气中的氮固定为氮化物。氮不仅是动植物蛋白质的重要组成部分,而且在合成氨、硝酸等工业生产上也有它的重要用途
27	氦	He	稀有气体元素之一。原子序数 2。单原子分子。无色无臭。是最难液化的气体(沸点 $-268.6^\circ C$)。液化后温度降达 $-270.976^\circ C$ (即 2.174K)以下时具有表面张力很小、导热性很强、粘性很小等许多奇异特性。利用液态氦可获得接近热力学零度($-273.15^\circ C$)的低温。氦为除氢以外的密度最小的气体。可用于充填电子管、飞艇和潜水服等,也可用于核反应堆、加速器,也可在冶炼或焊接金属时用作保护气体
28	氖	Ne	稀有气体元素之一。原子序数 10。单原子分子。无色无臭,不能燃烧,也不能助燃。可用来充填灯泡制成霓虹灯。与氢混合能产生美丽的蓝色光。高低压验电器和一些电子仪器中的红光指示就是采用充氖的氖管

(续)

序号	名称	符号	性能说明
29	氩	Ar(A)	稀有气体元素之一。原子序数 18。单原子分子。在高温冶炼纯金属时,常用氩来防止氧化、氮化、氢化等。在电弧焊接不锈钢、镁、铝等时用作保护气体。它不易导热,也可用于充气灯泡
30	氪	Kr	稀有气体元素之一。原子序数 36。单原子分子。能吸收 X 射线,可用作 X 射线工作时的遮光材料等。由于氪同位素 Kr-86 辐射的橙色光具有极好的单色性,其波长在特定条件下不受外界因素影响,因此 1960 年 11 届国际计量大会决定,废除原来保存在巴黎的铂铱合金“标准米尺”,而规定用 Kr-86 原子在真空中辐射橙色光波波长的 1650763.73 倍为 1m,即 $1\text{m} = 1650763.73\lambda_0$,式中 λ_0 为该谱线在真空中的波长
31	氙	Xe	稀有气体元素之一。原子序数 54。单原子分子。能吸收 X 射线。在较高温度或光照下,可与氟形成一系列氟化物如 XeF_2 、 XeF_4 、 XeF_6 等。可作强氧化剂。由于它有极高的发光强度,因此在照明技术上应用它制作氙灯。氙灯因其发光强度大,且光色与太阳光相近,故有“小太阳”之称。氙灯按其发光电弧长度分为短弧氙灯和长弧氙灯两种。短弧氙灯用于光学仪器和电影放映;长弧氙灯则用于广场照明等。氙灯具有高度的紫外光辐射,还可用于医疗技术方面

2. 供电技术中部分常见的化合物 如表 JC3-6 所示。

表 JC3-6 部分常见的化合物

序号	名称	分子式	性能说明
1	水	H_2O (18.015)	无色无臭无味液体,但水深 2m 以上时呈蓝色。在自然界中,水以固态(冰)、液态(水)和气态(水蒸气)三种聚集态存在。冰点 0°C ,沸点 100°C , 4°C 时水的密度最大($1\text{g}/\text{cm}^3$)。在一切固态和液态物质中,水的热容量最大,这一特点正说明水对调节气候具有重大的意义。水能溶解许多物质,是最重要的溶剂。水为弱电解质,可电离成氢离子和氢氧离子。水不是强的氧化剂或还原剂,但能与钠、钙等活泼金属起反应而放出氢气,也能与氟、氯、溴等活泼非金属起作用,也能与碱性氧化物反应生成碱,与酸性氧化物反应生成酸,又能与许多物质结合产生水合物。水是人类和生物赖以生存的一种极为重要的物质,也是它们的机体不可缺少的组成部分。天然水不是纯水,溶有盐类、气体等,并含有极少量的“重水”
2	重水 (氧化氘)	D_2O	重水亦称氧化氘或氘水,是氢的同位素氘与氧的化合物。为无臭无味液体。密度 $1.10775\text{g}/\text{cm}^3$ (25°C),比普通水 (H_2O) 略重。熔点 3.79°C ,沸点 101.42°C 。其物理性质与普通水略有差异。可由天然水经电解、蒸馏、化学交换等法制得。重水在核反应中作为中子减速剂和载热剂。重水电解后所得的重氢(氘)是制造氢弹的原料
3	硬水	—	含钙盐、镁盐较多的水称为硬水。水中的钙盐和镁盐能与肥皂起化学作用生成难溶于水的钙盐和镁盐沉淀,使肥皂失去去污能力。含钙、镁的酸式碳酸盐较多的水称为“暂时硬水”,煮沸时碳酸氢盐分解成碳酸盐而析出形成水垢,如井水。含钙、镁的硫酸盐较多的水称为“永久硬水”,煮沸时无沉淀物析出,如海水。水中溶解的这些少量钙、镁盐类通常以每百万份水中含有多少份碳酸钙(“度”)来表示。硬水用作锅炉给水时,必须软化,否则锅炉壁上的水垢阻碍传热,多耗燃料,且能造成局部过热、损坏锅炉,甚至引起爆炸。最常用的硬水软化法是用离子交换剂如磺化煤、离子交换树脂等来除去水中的金属盐类

(续)

序号	名称	分子式	性能说明
4	强酸	—	指在水溶液中几乎能全部离解为离子的酸类,如盐酸(HCl)、硝酸(HNO ₃)、硫酸(H ₂ SO ₄)、高氯酸(HClO ₄)等,大都具有强烈的腐蚀作用
5	强碱	—	指由碱金属或碱土金属所组成的氢氧化物。在水溶液中几乎完全电离。如氢氧化钠(NaOH)、氢氧化钾(KOH)、氢氧化钙[Ca(OH) ₂]等。有机季胺氢氧化物如四丁基氢氧化铵也是强碱。依据广义的碱的定义,碳酸根离子(CO ₃ ²⁻)、氰根离子(CN ⁻)、磷酸根离子(PO ₄ ³⁻)等也是强碱。强碱大都具有强烈的腐蚀作用
6	强电解质	—	一般指在水溶液中能全部电离为正、负离子的物质。强电解质溶液中离子之间存在着强烈的相互作用,这种作用既有物理作用,又有化学作用,情况很复杂。溶剂对中性分子(如HCl)的化学作用也可使之电离得到强电解质溶液
7	硫酸	H ₂ SO ₄ (98.07)	纯粹的无水硫酸为无色无臭的油状液体。不纯硫酸则呈黄色或棕色。熔点10.36℃(质量分数100%),沸点338℃(质量分数98.3%)。在340℃左右分解成三氧化硫(SO ₃)和水(H ₂ O)。属强酸,能与许多金属反应。浓硫酸有强烈的吸水性,可作脱水剂,能使木材等碳水化合物炭化。与水混合时,放出大量的热。稀释浓硫酸时,应将浓硫酸徐徐加入水中,同时加以搅拌,切勿将水滴入浓硫酸。硫酸具有强烈的腐蚀性和氧化性,不可与衣服和皮肤接触。通常用的是各种不同浓度硫酸的水溶液。硫酸是酸性蓄电池的电解质
8	盐酸	HCl (36.46)	是氯化氢的水溶液。属强酸。为无色有刺激性气味的液体。一般因含杂质(主要是三氯化铁FeCl ₃)而呈黄色。市售浓盐酸中HCl的质量分数为38%,密度为1.19g/cm ³ ,在空气中发烟。盐酸对许多金属有强烈的腐蚀作用,但不与贵金属及非金属物质反应
9	硝酸	HNO ₃ (63.013)	是五价氮的含氧酸。属强酸。无水纯硝酸为无色液体,但易分解出二氧化氮,因而呈红棕色。具有强烈刺激气味和腐蚀性。密度1.5027g/cm ³ (25℃),熔点-42℃,沸点83℃(分解)。与水可任意互溶,也可溶于乙醚。通常所用的浓硝酸中HNO ₃ 的质量分数约为65%,密度1.40g/cm ³ 。易分解成氧化氮和氧气,是强氧化剂。几乎与所有金属能起剧烈作用,但对铁只能使之钝化,因而不会使铁继续被腐蚀。能将碳氧化成二氧化碳,将硫氧化成硫酸,将磷氧化成磷酸。皮肤触及则会灼痛,显黄色斑点
10	氢氧化钾 (苛性钾)	KOH (56.11)	白色吸湿性固体,呈片状、粒状、块状或条状。属强碱。具强腐蚀性。在空气中易吸收二氧化碳和水分(变成碳酸钾),因此应密闭贮藏。密度2.044g/cm ³ 。熔点约为360℃(无水时约380℃),沸点1320℃。易溶于水、乙醇和甘油,不溶于乙醚。溶解时强烈放热。是碱性蓄电池和某些燃料电池中的电解质
11	氢氧化钠 (苛性钠)	NaOH (40.00)	俗称“烧碱”。白色固体,呈粒状、片状、棒状或块状。属强碱。对皮肤、织物、纸张等有强腐蚀性。吸湿性强,在空气中很快吸收水分和二氧化碳逐渐变成碳酸钠,故应密闭贮藏。密度2.130g/cm ³ 。熔点318.4℃,沸点1390℃。易溶于水,同时强烈放热。也溶于乙醇和甘油

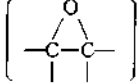
(续)

序号	名称	分子式	性能说明
12	氢氧化钙	Ca(OH) ₂ (74.09)	俗称“熟石灰”。白色晶体或粉末。属强碱。对皮肤、织物等有腐蚀性。密度 2.24g/cm ³ 。达 580℃ 即失水而成氧化钙(CaO)。易从空气中吸收二氧化碳逐渐变成碳酸钙。微溶于水,溶于酸、甘油、糖或氯化铵溶液。澄清的氢氧化钙饱和水溶液称为“石灰水”,呈强碱性。氢氧化钙与水组成的白色悬浮液称为“石灰乳”,用于刷墙等
13	氧化铜	CuO (79.55)	黑色单斜晶体。密度 6.3~6.49g/cm ³ 。熔点 1326℃。不溶于水、乙醇,溶于酸、氨水、氰化钾、氯化铵、碳酸铵溶液。加热时可被氢或还原为铜。可作电池的去极剂
14	氧化锌	ZnO (81.38)	俗称“锌白”或“锌氧粉”。白色六方晶体或粉末。密度 5.606g/cm ³ 。熔点 1975℃。不溶于水、乙醇,溶于酸、碱和氯化铵溶液,属两性氧化物。在 500℃ 时变为黄色,但冷却后又恢复为白色。是制造氧化锌避雷器的重要原料,它掺和少量其它金属氧化物后,经高温烧结而成多晶半导体陶瓷元件,具有优良的阀电阻特性
15	氧化铅	PbO (223.20)	又称“铅黄”、“密陀僧”。黄色晶体或粉末。有毒!密度 9.53g/cm ³ 。熔点 888℃。不溶于水、乙醇,溶于酸和苛性碱。是制造酸性蓄电池极板的材料
16	氧化银	Ag ₂ O (231.74)	棕黑色立方晶体,见光逐渐分解。密度 7.143g/cm ³ (在 16.6℃ 时)。加热至 300℃ 时迅速分解为银和氧。不溶于乙醇,难溶于水,溶于氨水、硝酸、氰化钾溶液、硫化硫酸钠溶液。潮湿时能吸收空气中二氧化碳。与可燃性有机物摩擦可引起燃烧。可用于制作电池极板等
17	氧化铝	Al ₂ O ₃ (101.96)	白色晶状粉末。密度 3.965g/cm ³ (在 25℃ 时)。熔点 2045℃。沸点 2980℃。不溶于水和一般的有机溶剂。具有不同的晶型。其中 γ-Al ₂ O ₃ 溶于酸或碱,是两性氧化物。α-Al ₂ O ₃ 一般不被化学药品侵蚀,在自然界中以刚玉形式存在。刚玉硬度(注:以金刚石硬度为 10 的相对硬度,下同)约为 8.8。仅次于金刚石和碳化硅,可制作钻头、砂轮、锉刀和轴承等。用作重要的耐火材料和填料。铝制品表面氧化形成的氧化铝层具有保护膜的作用
18	铜绿(绿色碱式碳酸铜)	CuCO ₃ ·Cu(OH) ₂ (223.13)	为铜表面上所生成的绿锈。密度 4.0g/cm ³ 。在 200℃ 分解。不溶于冷水、乙醇,微溶于碳酸溶液,溶于稀酸、氨水、氰化钾溶液。遇热分解。在沸腾的碱金属碳酸盐溶液中析出褐色氧化物沉淀。它以孔雀石形式存在于自然界,可由硫酸铜或硝酸铜溶液与碳酸钠溶液作用制得。可作颜料、杀虫剂、磷毒解毒剂、脱硫剂及用于电镀等
19	铁锈	Fe ₂ O ₃ ·nH ₂ O	铁在含有二氧化碳的潮湿空气中被氧化而在其表面上形成的褐色鳞片层。主要成分为水合氧化铁。在潮湿空气中腐蚀的电化学反应使铁锈发生得最快
20	云母	—	云母族矿物的总称。商业上多称“千层纸”。主要包括白云母、黑云母、金云母、锂云母等。是钾、铝、镁、铁、铯等的铝硅酸盐,单斜晶系,晶体常呈假六方柱状、板状及片状,集合体常成鳞片状。硬度 2~3。表面呈玻璃光泽,解理面呈珍珠光泽,颜色随成分而异。薄片具弹性。白云母和金云母具有优良的耐热性、电气绝缘性及耐酸碱腐蚀性,是高温、高压、耐潮的电气绝缘制品中的主要材料,并可制成各种云母板、云母带、云母箔等绝缘制品以及塑料中的填料

(续)

序号	名称	分子式	性能说明
21	石英(二氧化硅)	SiO ₂ (60.054)	一般指形成于575℃以下的低温石英。三方晶系,晶体呈六方柱状。通常呈簇状、粒状、块状集合体。硬度7,密度2.65~2.66g/cm ³ 。表面呈玻璃光泽,断面呈油脂光泽。颜色不一,但多为乳白色。无色透明者称为“水晶”。一般石英广泛用作制造玻璃、搪瓷的原料,研磨材料和建筑材料。玻璃的主要成分就是二氧化硅、氧化钠和氧化钙,用石英砂充填于熔断器的熔管中,可使熔断时的电弧加速熄灭,改善保护性能
22	石蜡	R—CH ₂ —CH ₃	一种石油加工产品。白色或淡黄色固体,无臭无味。是制造高级脂肪酸和高级醇的重要原料,也用来制造电气绝缘材料
23	酒精(乙醇)	C ₂ H ₅ OH (46.07)	无色易燃液体,具有特殊香气和辣味。密度0.789g/cm ³ ,熔点-117.3℃,沸点78.3℃。其蒸气能与空气形成爆炸性混合物。能与水任意混合,能溶解香精油和树脂等。酒精为饮用酒的主要成分。酒精是最常用的溶剂之一
24	丙酮	CH ₃ COCH ₃ (58.08)	无色有微香液体。易着火。密度0.788g/cm ³ 。沸点56.5℃。与水、乙醇、乙醚、油类等互溶。与空气形成爆炸性混合物。广泛用作油脂、树脂、化学纤维、赛璐珞等的溶剂。为合成药物(磺仿)、树脂(环氧树脂、有机玻璃)及合成橡胶等的重要原料
25	聚乙烯	-[CH ₂ -CH ₂]- _n	由乙烯(CH ₂ =CH ₂)为单体聚合制得的聚合物,分子量从一万至数百万不等。具热塑性。纯品呈白色蜡状固体,半透明,柔韧。耐化学腐蚀,电绝缘性能极优。主要有两种聚合方法。由高压法制得的为低密度产品,结晶度55%~65%,熔点110~115℃,质软,机械强度、电绝缘性、耐寒性、耐辐射和化学稳定性良好,适合制薄膜、电缆和电子设备的绝缘层以及各种空心制品等。由低压法制得的为高密度产品,结晶度85%~90%,熔点125~135℃,其机械强度和硬度等均较低密度的高,用于制造机械、电气仪表的壳体、零部件及管材等
26	聚氯乙烯(PVC)	-[CH ₂ -CHCl]- _n	由氯乙烯(CH ₂ =CHCl)为单体聚合制得的聚合物,分子量约3.6万~8.5万。密度1.35~1.45g/cm ³ 。无结晶熔点。具热塑性。制品耐腐蚀、耐焰自熄、耐磨,机械、电气性能均好,但耐热性较差,软化点80℃,于130℃开始分解变质并析出HCl。一般使用温度为-15~60℃。按所加增塑剂量的多少而有软硬聚氯乙烯之分。软PVC可制薄膜、人造革、电线电缆的绝缘层、纤维等。硬PVC可制板材、硬管、阀件等
27	交联聚合物	—	由网状体型大分子构成的不溶不熔聚合物。作为新型电线电缆绝缘层材料的交联聚乙烯是乙烯类单体与二乙烯苯共聚的聚合物,其机械、电气性能和耐热性能均较聚乙烯和聚氯乙烯好

(续)

序号	名称	分子式	性能说明
28	环氧树脂	—	<p>分子中含有两个或两个以上环氧基团  的树脂的统称。通用的一种是由环氧氯丙烷和双酚 A 聚合而成的双酚 A 缩水甘油醚,控制反应物的比率,可得到不同分子量的产物,从粘稠的流体到脆性的固体。溶于丙酮、环己酮、甲苯和苯乙烯等。对金属和非金属具有优异的粘合力,耐热性、绝缘性、硬度和韧性都好。可用作金属和非金属材料(如陶瓷、玻璃、木材等)的粘合剂,俗称“万能胶”;也可用于制造涂料、增强塑料或浇铸成绝缘制品和电缆头等</p>
29	酚醛树脂	—	<p>由酚类与醛类(或酮类)缩聚制得的聚合物。常用的有苯酚甲醛树脂、甲酚甲醛树脂、二甲酚甲醛树脂和苯酚糠醛树脂等。以苯酚甲醛树脂最为重要。按所用催化剂的种类和原料配比的的不同可制得热塑性树脂或热固性树脂。树脂为粘稠液体或脆性固体。按其性能、加工成型工艺和用途的不同,可分为模塑树脂、层压树脂、铸型树脂、涂料等。模塑树脂主要用于电器、电视、无线电和汽车等工业中。层压板可代替木材。酚醛漆是良好的绝缘漆,用于电器工业和油漆工业</p>
30	玻璃钢	—	<p>用玻璃纤维增强聚酯、环氧树脂或酚醛树脂等经加工成型的塑料。质轻而坚硬,其强度超过钢材。耐热,耐化学腐蚀,耐辐射,电气性能优良。是重要的工业材料,可代替钢材以制造船体、汽车车身和火车车厢等,也用于建筑材料、飞机等制造工业,在电器工业中也得到广泛应用,如制造玻璃钢绝缘子、高压开关的绝缘油筒等</p>
31	二氧化碳 (碳酸气)	CO ₂ (44.01)	<p>无色无臭气体。密度 1.53g/cm³(空气密度为 1.0g/cm³)。在常温下加压即可使之液化或固化。液态:无色无臭,有挥发性,密度 1.101g/cm³(-37℃)。固态(称为“干冰”),白色,冰雪状,密度 1.56g/cm³(-79℃),-78.5℃ 升华,熔点-56.6℃(526.89kPa)。临界温度 31.3℃,临界压力大于 293.8kPa。溶于水,20℃,1.01×10⁵Pa 时 100mL 水中可溶解 88mL 二氧化碳,亦溶于乙醇及其它中性有机溶剂。化学性质稳定,不活泼,气、液、固三态均不燃烧。大气中约含 0.05%,是动植物新陈代谢和有机物完全燃烧时的产物,也是石灰、发酵工业的副产物。人类呼气中含 4% 左右,吸气过程中浓度高达 5% 时,即可刺激呼吸中枢,而使呼吸量增加约两倍。工业上用作制备纯碱、碳酸盐饮料等的原料;二氧化碳灭火器是电气灭火器材</p>
32	四氯化碳	CCl ₄ (153.82)	<p>无色液体,有毒;不会燃烧,密度 1.595g/cm³,熔点-23.0℃,沸点 76.8℃。微溶于水,溶于乙醇或乙醚。蒸气较空气重。性质稳定,在普通条件下对酸、碱不起作用。可用作油脂、树脂的溶剂;四氯化碳灭火器也是电气灭火器材</p>
33	六氟化硫	SF ₆ (146.05)	<p>无色无臭无味不燃烧气体。密度 1.88g/cm³(液态,-50.5℃),2.683g/cm³(液态,-195℃),5.11g/cm³(气态,20℃)。熔点-50.5℃(加压)。-63.8℃ 升华,微溶于水及醇。具有良好的耐热(500℃以上仍稳定)、导热及介电性能。化学性质稳定,与水、氨、氢氧化钠及盐酸皆不起反应。300℃ 以下与干燥的金属铜、铝、铁、银等以及 500℃ 以下与石英皆不发生作用。与金属钠在 250℃ 时反应。广泛用于高压电气装置中作绝缘和灭弧介质</p>

注:表中“分子式”一栏内括弧中数字为相对分子质量。对有机化合物,其分子式栏为化学式。

(五) 化学反应的基本知识

1. 无机化学反应的主要类型及示例 如表 JC3-7 所示。

表 JC3-7 无机化学反应的主要类型及示例

序号	类别	化学方程式
1	化合反应	一般式 $A + B \longrightarrow AB$
	示例	$2H_2 + O_2 \xrightarrow{\text{燃烧}} 2H_2O$ $S + 3F_2 \longrightarrow SF_6$ $W + 3I_2 \longrightarrow WI_6$
2	分解反应	一般式 $AB \longrightarrow A + B$
	示例	$2H_2O_2 \longrightarrow 2H_2O + O_2 \uparrow$ $CaCO_3 \xrightarrow{\text{高温}} CaO + CO_2 \uparrow$ $2Al(OH)_3 \xrightarrow{\Delta} Al_2O_3 + 3H_2O$
3	置换反应	一般式 $A + BC \longrightarrow AC + B$
	示例	$Zn + H_2O \longrightarrow ZnO + H_2 \uparrow$ $C + H_2O \xrightarrow{\text{高温}} CO + H_2$ $H_2 + CuO \xrightarrow{\Delta} H_2O + Cu$
4	复分解反应	一般式 $AB + CD \longrightarrow AD + BC$
	示例	$HCl + NaOH \longrightarrow NaCl + H_2O$ $2NaOH + CuSO_4 \longrightarrow Na_2SO_4 + Cu(OH)_2 \downarrow$ $AgNO_3 + NaCl \longrightarrow NaNO_3 + AgCl \downarrow$
5	氧化还原反应	一般式 $\begin{array}{c} \text{得电子(被还原)} \\ \downarrow \\ A + B \longrightarrow A^- + B^+ \\ \uparrow \\ \text{失电子(被氧化)} \end{array}$
	示例	$\begin{array}{c} \text{得 } 2 \times 3e \text{ (被还原)} \\ \downarrow \\ Fe_2O_3 + 3CO \xrightarrow{\text{高温}} 2Fe + 3CO_2 \uparrow \\ \uparrow \\ \text{失 } 3 \times 2e \text{ (被氧化)} \end{array}$ $Zn + 2H^+ \longrightarrow Zn^{2+} + H_2 \uparrow$ $2Cu^+ \longrightarrow Cu^{2+} + Cu$

2. 有机化学反应的主要类型及示例 如表 JC3-8 所示。

表 JC3-8 有机化学反应的主要类型及示例

序号	类别	说明及化学反应式
1	取代反应	含义 指连接在碳原子上的氢原子(或其它原子)被其它原子或原子团取代的反应
		示例 $\text{CHCl}_3 + \text{Cl}_2 \xrightarrow{\text{光}} \text{CCl}_4 + \text{HCl}$
2	加成反应	含义 指含有不饱和键的有机化合物,在反应中打开不饱和键,与其它原子或原子团直接结合成一种新物质的反应
		示例 $\text{CH}_2 = \text{CH}_2 + \text{Br}_2 \longrightarrow \text{CH}_2\text{Br}-\text{CH}_2\text{Br}$
3	氧化反应	含义 指有机化合物中加“氧”或脱“氢”的反应
		示例 $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \xrightarrow{\text{燃烧}} \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
4	还原反应	含义 指有机化合物中加“氢”或脱“氧”的反应
		示例 $\text{R}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{||}}{\text{C}}}-\text{H} + \text{H}_2 \xrightarrow{\text{Ni}} \text{RCH}_2\text{OH}$
5	消除反应	含义 指有机化合物在适当的条件下从分子中相邻的两个碳原子上脱去水、卤化氢、氢等而形成不饱和化合物的反应
		示例 $\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \\ | \quad | \\ \text{H} \quad \text{OH} \end{array} \xrightarrow[170^\circ\text{C}]{\text{浓 H}_2\text{SO}_4} \text{CH}_2 = \text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O}$
6	烷基化反应	含义 指在无水 AlCl_3 、 HF 或 H_3PO_4 等催化剂作用下,以烯烃或卤代烃等作烷基化剂,在芳环上引入烷基的反应
		示例 $\text{C}_6\text{H}_6 + \text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl} \xrightarrow{\text{无水 AlCl}_3} \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}_3 + \text{HCl}$
7	酯化反应	含义 指醇和羧酸(或无机酸)作用生成酯和水的反应
		示例 $\text{CH}_3\overset{\text{O}}{\underset{\text{||}}{\text{C}}}-\text{OH} + \text{HO}-\text{C}_2\text{H}_5 \xrightarrow{\text{浓 H}_2\text{SO}_4} \text{CH}_3\overset{\text{O}}{\underset{\text{||}}{\text{C}}}-\text{OC}_2\text{H}_5 + \text{H}_2\text{O}$
8	水解反应	含义 指有机化合物由于水的作用而发生的复分解反应
		示例 $\text{CH}_3\overset{\text{O}}{\underset{\text{||}}{\text{C}}}-\text{OC}_2\text{H}_5 + \text{H}_2\text{O} \xrightleftharpoons{\text{酸}} \text{CH}_3\overset{\text{O}}{\underset{\text{||}}{\text{C}}}-\text{OH} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

(续)

序号	类别	说明及化学反应式
9	成盐反应	含义 指有机化合物羧酸、苯酚或苯胺等与无机酸或碱作用生成盐和水的反应
		示例 $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaOH} \longrightarrow \text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O}$
10	聚合反应	含义 指由不饱和的或含有两个或更多个功能团的小分子化合物(简称单体)生成分子量较高的化合物(即聚合物)的反应。聚合反应又可分为加成聚合反应(加聚)和缩合聚合反应(缩聚)
		示例 加聚反应 $n \text{CH}_2 = \underset{\text{Cl}}{\text{CH}} \xrightarrow{\text{过氧化苯甲酰}} \left\{ \text{CH}_2 - \underset{\text{Cl}}{\text{CH}} \right\}_n$ (聚氯乙烯) $n \text{CH}_2 = \text{CH}_2 \xrightarrow[180^\circ\text{C}, 152\text{MPa}]{\text{O}_2(0.05\%)} \left\{ \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \right\}_n$ (聚乙烯) 加聚反应为由不饱和的单体分子相互加成而不析出小分子副产物的反应
		缩聚反应 $n \text{C}_6\text{H}_4(\text{OH}) + n \text{HCHO} \xrightarrow{\text{酸}} \left[\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH}) - \text{CH}_2 \right]_n + n \text{H}_2\text{O}$ (线型酚醛树脂) 缩聚反应为由两个或多个功能团的单体相互缩合并析出小分子副产物如水、氯化氢、氨等的反应
11	裂化反应和裂解反应	含义 裂化反应是烷烃在加热(500~600℃)下或同时在催化剂(如硅胶铝)存在下发生C—C键、C—H键的断裂,生成较小烃类分子的过程。裂解反应是使烷烃在更高温度(通常高于700℃)下进行深度裂化,获得乙烯、乙炔、丙烯等化工原料的过程,它是石油化工生产的基本反应
		示例 $\text{C}_{16}\text{H}_{34} \xrightarrow{>400^\circ\text{C}} \text{C}_8\text{H}_{18} + \text{C}_8\text{H}_{16}$ $\text{C}_2\text{H}_6 \xrightarrow{800^\circ\text{C}} \text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2 \uparrow$ $\text{C}_2\text{H}_6 \xrightarrow{>1100^\circ\text{C}} \text{C}_2\text{H}_2 + 2\text{H}_2 \uparrow$
12	显色反应	含义 指用于鉴别的一些显色反应
		示例 淀粉与碘生成蓝色分子复合物 $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n + \text{I}_2 \longrightarrow \text{复合物}$ (蓝色)

3. 常见的原电池和蓄电池的化学反应 如表JC3-9所示。其中铅酸蓄电池和镉镍蓄电池的结构性能参看表ZY8-3。

表 JC3-9 常见的原电池和蓄电池的化学反应

序号	类别	电池组成 ^①	电池的化学反应	电动势
1	原 电 池	丹尼尔 电池	(-) Zn|ZnSO ₄ || CuSO ₄|Cu(+)	Zn + CuSO ₄ = Cu + ZnSO ₄ 1.1V
2	池	锰锌 干电池	(-) Zn|NH ₄ Cl| MnO ₂|C(+)	Zn + 2MnO ₂ + H ₂ O = ZnO + 2MnO(OH) 1.5V
3	蓄 电 池	铅酸 蓄电池	(-) Pb|H ₂ SO ₄ (密度 1.22~1.28g/cm ³)|PbO ₂ (+)	PbO ₂ + Pb + 2H ₂ SO ₄ $\xrightleftharpoons[\text{充电}]{\text{放电}}$ 2PbSO ₄ + 2H ₂ O 2.0V
4	池	镉镍 蓄电池	(-) Cd|KOH(密度 1.20~1.30g/cm ³) |NiOOH(+)	2NiOOH + Cd + 2H ₂ O $\xrightleftharpoons[\text{充电}]{\text{放电}}$ Cd(OH) ₂ + 2Ni(OH) ₂ 1.2V

① “电池组成”栏中,(-)表示负极,(+)表示正极,||表示电池中间隔板,|表示电极界面。

主要参考文献

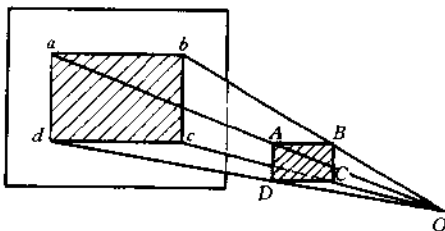
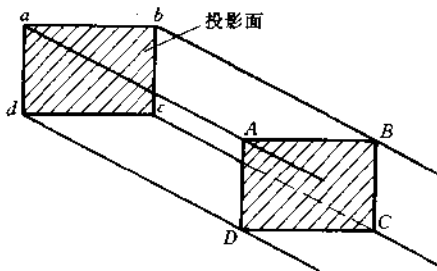
- 1 刘知新主编. 中学教师化学手册. 北京:科学普及出版社,1981
- 2 顾翼东主编. 化学词典. 上海:上海辞书出版社,1989
- 3 辞海编委会编. 辞海. 上海:上海辞书出版社,1989
- 4 北京师范大学化学系编. 简明化学手册. 北京:北京出版社,1980

四、工程制图基础 (JC4)

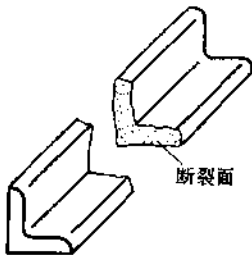
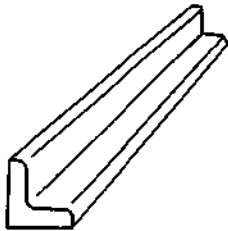
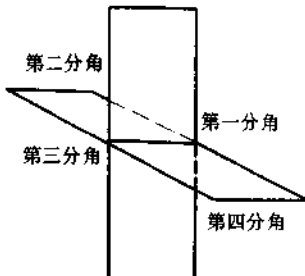
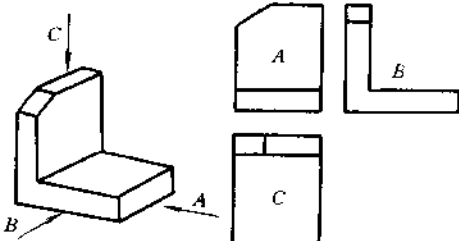
(一) 常用的工程制图名词术语

供电技术中较常用的工程制图名词术语，如表 JC4-1 所示。

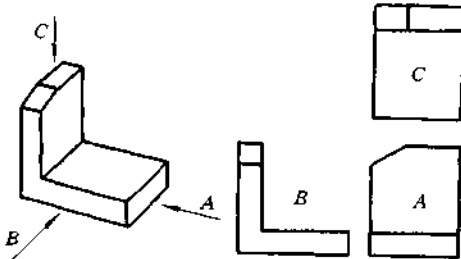
表 JC4-1 常用的工程制图名词术语

序号	名词术语	含义说明
1	图 drawing	指用点、线、符号、文字和数字等描绘事物几何特性、形态、位置及大小的一种形式
2	图样 drawing	指根据投影原理、标准或有关规定，表示工程对象，并有必要的技术说明的图
3	投影 projection	指投射射线通过物体，向选定的面投射，在该面上得到的图形。得到投影的平面，则称为投影面
4	中心投影法 central projection method	指投射射线汇交于一点的投影法 (参看下图) 
5	平行投影法 parallel projection method	指投射射线相互平行的投影法 (参看下图) 
6	正投影法 orthogonal projection method	指投射射线与投影面相垂直的平行投影法

(续)

序号	名词术语	含义说明
7	<p>轴测投影 axonometric projection</p>	<p>指将物体连同其参考直角坐标系,沿不平行于任一坐标面的方向,用平行投影法将其投射在单一投影面上所得到的图形,简称“轴测图”(参看下图)</p>  <p>(角钢的轴测图)</p>
8	<p>透视投影 perspective projection</p>	<p>指用中心投影法将物体投射在单一投影面上所得到的图形,简称“透视图”(参看下图)</p>  <p>(角钢的透视图)</p>
9	<p>分角 quadrant</p>	<p>指用水平和铅垂的两投影面将空间分成的各个区域,或称“象限”(参看下图)</p> 
10	<p>第一角画法 first angle method</p>	<p>指将物体置于第一分角内,并使其处于观察者与投影面之间而得到的正投影的方法(参看下图)。我国的工程图样规定采用第一角正投影画法</p> 

(续)

序号	名词术语	含义说明
11	第三角画法 third angle method	<p>指将物体置于第三角内,并使投影面处于观察者与物体之间而得到正投影的方法(参看下图)。有一些国家如英、美、日等国规定工程图样采用第三角正投影画法</p> 
12	视图 view	指根据有关标准和规定,用正投影法所绘制出的物体的图形
13	主视图 front view	指由前向后投射所得的视图
14	俯视图 top view	指由上向下投射所得的视图
15	左视图 left view	<p>指由左向右投射所得的视图</p> <p>[说明] 右视图、仰视图、后视图的含义依此类推,此略</p>
16	剖视图 cutway view	指假想将物体切去一部分而绘出其余部分的视图,亦称“剖面图”(注:“剖面图”在机械制图中仅指切断面的图形)
17	局部放大图 drawing of partial enlargement	指将图样中所表示的物体部分结构,用大于原图形的比例所绘出的图形
18	平面图 plan	指建筑物、构筑物等在水平投影上所得的图形
19	立面图 elevation	指建筑物、构筑物等在直立投影上所得的图形
20	简图 diagram	指由规定的符号、文字和图线组成示意性的图。在不致引起混淆时,简图也可简称为“图”
21	详图 detail	指表明生产过程中所需要的细部构造、尺寸及用料等全部资料的详细图样
22	零件图 detail drawing	指表示零件结构、大小及技术要求的图样
23	装配图 assembly drawing	指表示产品及其组成部分的连接、装配关系的图样
24	安装图 installation drawing	指表示设备、构件等安装要求的图样

(续)

序号	名词术语	含义说明
25	外形图 figuration drawing	指表示产品外形轮廓的图样
26	方案图 conceptual	指概要表示工程项目或产品的设计意图的图样
27	设计图 design drawing	指在工程项目或产品进行构形和计算过程中所绘制的图样
28	施工图 production drawing	指表示施工对象的全部尺寸、用料、结构以及施工要求以用来指导施工的图样
29	总布置图 general plan	指表示特定区域的地形和所有建(构)筑物等布局以及邻近情况的平面图样
30	原理图 schematic diagram, elementary diagram	指表示系统、设备的工作原理及其组成部分的相互关系的简图
31	框图 block diagram	指用线框、连线和字符表示系统中各组成部分的基本作用及其相互关系的简图
32	系统图 system diagram	指用符号概略表示系统或分系统的基本组成、相互关系及其主要特征的简图
33	流程图 flow diagram	指表示生产过程事物各个环节进行顺序的简图
34	功能图 function diagram	指表示理论的或理想的电路而不涉及实现方法的简图,其用途是提供绘制电路图和其它有关简图的依据
35	电路图 circuit diagram	指用图形符号,按工作顺序排列,详细表示电路、设备或成套装置的全部基本组成和连接关系而不考虑其实际位置的简图。目的是便于详细理解作用原理,分析和计算电路特性,为测试和寻找故障提供信息,并作为编绘接线图的依据
36	等效电路图 equivalent circuit diagram	指表示理论的或理想的元件及其连接关系的功能图,供分析和计算电路特性和状态之用
37	接线图 connection diagram	指表示成套装置、设备或装置的连接关系,用以进行接线和检查的简图
38	端子接线图 terminal connection diagram	指表示成套装置或设备的端子以及在端子上的外部接线(必要时包括内部接线)的接线图
39	位置简图或位置图 location diagram/drawing	指表示成套装置、设备或装置中各个项目的位置的简图或图
40	表图 chart	指用点、线、图形和必要的变量数值,表示事物状态或过程的图
41	草图 sketch	指以目测估计图形与实物的比例,按一定画法要求徒手或部分使用绘图仪器绘制的图

(续)

序号	名词术语	含义说明
42	原图 original drawing	指经审核、认可后,可作为原稿的图
43	底图 traced drawing	指根据原图制成的可供复制的图
44	复制图 duplicate	指由底图或原图复制成的图
45	多线表示法 multi-line representation	电气制图中表示方法之一。指每根导线在简图上分别用一条线表示的方法
46	单线表示法 single-line representation	电气制图中表示方法之一。指两根或两根以上的导线(属同一条线路)在简图上只用一条线表示的方法
47	集中表示法 assembled representation	电气制图中表示方法之一。指将设备或成套装置中一个项目各组成部分的图形符号,在简图上绘制在一起的方法
48	半集中表示法 semi-assembled representation	电气制图中表示方法之一。指为了使设备和装置的电路布局清晰,易于识别,将一个项目中某些部分的图形符号,在简图上分开布置,并用机械连接符号表示它们之间关系的方法
49	分开表示法 detached representation	电气制图中表示方法之一。指为了使设备和装置的电路布局清晰,易于识别,将一个项目中某些部分的图形符号,在简图上分开布置,并仅用项目代号表示它们之间关系的方法
50	图形符号 graphical symbol	指用于图样或其它文件中以表示一个设备或概念的图形、标记或字符
51	符号要素 key element of symbols	指一种具有确定意义的简单图形,但它必须与其它图形组合才能构成一个设备或概念的完整符号
52	一般符号 general symbol	指用以表示一类产品和此类产品特征的一种通常很简单的符号
53	限定符号 restrict symbol	指用以提供附加信息的一种加在其它符号上的符号。限定符号通常不能单独使用,但一般符号有时也可用作限定符号
54	方框符号 block symbol	指用以表示元件、设备等的组合及其功能,既不给出元件、设备的细节,也不考虑所有连接的一种简单的图形符号
55	项目 item	指在图上用一个图形符号表示的基本件、部件、组件、功能单元、设备、系统等。例如电阻器、继电器、发电机、放大器、开关设备等,均可称为项目
56	项目代号 item designation	指用以识别图、图表、表格中和设备上的项目种类,并提供项目的层次关系、实际位置等信息的一种特定的代码

(续)

序号	名词术语	含义说明
57	比例 scale	指图样中元器件、设备或建(构)筑物等的线性尺寸与实际的元器件、设备或建(构)筑物等的线性尺寸之比。比例有缩小的比例与放大的比例之分。例如1:5为缩小比例,表示图样的线性尺寸为实物线性尺寸的1/5。反之,5:1为放大比例,表示图样的线性尺寸为实物线性尺寸的5倍。如图样尺寸与实物相同,则比例为1:1
58	尺寸 dimension	指用特定长度或角度单位表示的数值,并在技术图样上用图线、符号和技术要求表示出来
59	间隔 interval	指两个图样、文字或两条线之间的距离
60	间隙 gap	指窄小的间隔,例如互相平行的图线,其间隙不得小于0.7mm

(二) 工程制图的国家标准及有关基本规定

1. 工程制图的现行国家标准 如表 JC4-2 所示。

表 JC4-2 工程制图的现行国家标准

序号	标准名称	标准代号	适用范围
1	技术制图通用术语	GB/T13361-92	适用于各类技术图样及有关技术文件和出版物
2	技术制图·标题栏	GB10609.1-89	
3	技术制图·明细栏	GB10609.2-89	
4	技术制图·图纸幅面和格式	GB/T14689-93	
5	技术制图·比例	GB/T14690-93	
6	技术制图·字体	GB/T14691-93	
7	技术制图·投影法	GB/T14692-93	
8	机械制图	GB4457~4460-84, GB131-83	适用于机械工程技术领域
9	电气制图	GB6988-86	适用于电气工程技术领域
10	电气图用图形符号	GB4728-84、85	
11	电气技术中的项目代号	GB5094-85	
12	电气技术中的文字符号制订通则	GB7159-87	
13	房屋建筑制图统一标准	GBJ1-86	适用于建筑工程技术领域
14	总图制图标准	GBJ103-87	
15	建筑制图标准	GBJ104-87	

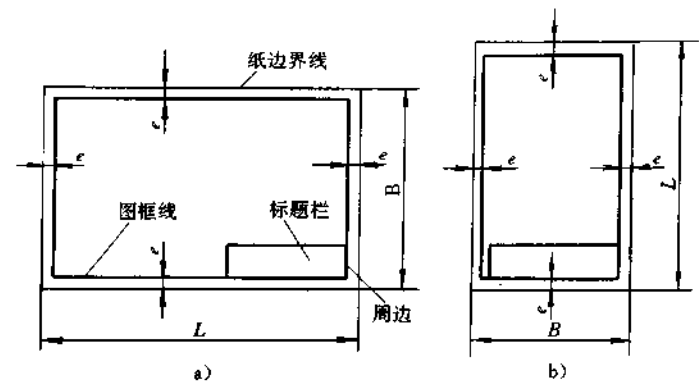
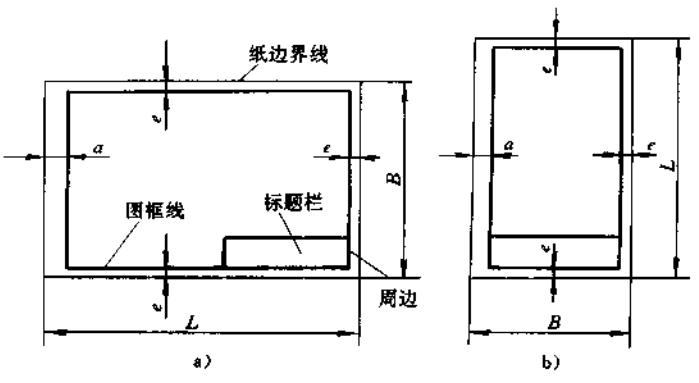
注：“GB”新规定为“强制性国家标准”，“GB/T”新规定为“推荐性国家标准”；“GBJ”为以前的“工程建设国家标准”，现改为“GB”，序号从50001起。

2. 工程图纸的幅面及图框尺寸要求 GB/T14689—93《技术制图·图纸幅面和格式》的规定,如表 JC4-3 所示。该标准取代 GB4457.1—84《机械制图·图纸幅面及格式》。

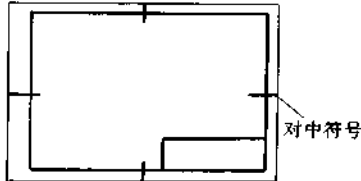
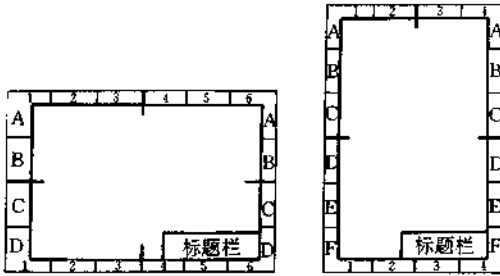
表 JC4-3 工程图纸的幅面及图框尺寸要求 (据 GB/T 14689—93)

序号	项 目	有 关 规 定 和 要 求	
1	图纸幅面尺寸	(mm)	
1.1	基本幅面 (第一选择)	幅面代号	尺寸 $B \times L$
		A0	841×1189
		A1	594×841
		A2	420×594
		A3	297×420
		A4	210×297
1.2	加长幅面 (第二选择)	幅面代号	尺寸 $B \times L$
		A3×3	420×891
		A3×4	420×1189
		A4×3	297×630
		A4×4	297×841
		A4×5	297×1051
1.3	加长幅面 (第三选择)	幅面代号	尺寸 $B \times L$
		A0×2	1189×1682
		A0×3	1189×2523
		A1×3	841×1783
		A1×4	841×2378
		A2×3	594×1261
		A2×4	594×1682
		A2×5	594×2102
		A3×5	420×1486
		A3×6	420×1783
		A3×7	420×2080
		A4×6	297×1261
		A4×7	297×1471
		A4×8	297×1682
A4×9	297×1892		

(续)

序号	项目	有关规定和要求																										
2	图框格式和尺寸																											
2.1	不留装订边的图纸的图框格式	 <p>尺寸按本表序号 2.3 的规定</p>																										
2.2	留有装订边的图纸的图框格式	 <p>尺寸按本表序号 2.3 的规定</p>																										
2.3	图框的尺寸	<p>①基本幅面的图框尺寸, 按下表确定</p> <p style="text-align: right;">(mm)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2">幅面代号</th> <th>A0</th> <th>A1</th> <th>A2</th> <th>A3</th> <th>A4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">图框尺寸</td> <td>e</td> <td colspan="2">20</td> <td colspan="3">10</td> </tr> <tr> <td>c</td> <td colspan="3">10</td> <td colspan="2">5</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td colspan="5">25</td> </tr> </tbody> </table> <p>②加长幅面的图框尺寸, 按所选用的基本幅面大一号的图框尺寸确定</p>	幅面代号		A0	A1	A2	A3	A4	图框尺寸	e	20		10			c	10			5		a	25				
幅面代号		A0	A1	A2	A3	A4																						
图框尺寸	e	20		10																								
	c	10			5																							
	a	25																										
3	图纸格式的其他规定																											
3.1	标题栏的方位	标题栏的位置, 应位于图纸的右下角, 如本表序号 2.1, 2.2 图所示																										

(续)

序号	项 目	有 关 规 定 和 要 求
3.2	对中符号	<p>为了使图样复制和缩微摄影时定位方便,对序号 1.1 和 1.2 所列的各号图纸,均应在图纸各边的中点处分别画出对中符号。对中符号用粗实线(线宽不小于 0.5mm)绘制,长度从纸边界开始至伸入图框内约 5mm,如图所示。对中符号处在标题栏范围内时,则伸入标题栏部分省略不画</p> 
3.3	图幅分区	<p>必要时,可以用细实线在图纸周边内画出分区,如图所示。分区数目按图样的复杂程度确定,但必须取偶数,每一分区的长度应在 25~75mm 之间选择。分区的编号,按看图方向,上下用拉丁字母,水平方向用阿拉伯数字</p> 

3. 工程图样中的标题栏要求 GB10609.1—89《技术制图·标题栏》的规定如表 JC4-4 所示。

表 JC4-4 工程图样中的标题栏要求 (据 GB10609.1—89)

序号	项 目	说 明
1	基本要求	<p>①每张图样中均应有标题栏 ②标题栏在图样中应按 GB/T14689—93 所规定的位置配置 (参看表 JC4-3 序号 3.1) ③标题栏中的字体应符合 GB/T14691—93 的要求 (参看表 JC4-6), 签字除外 ④标题栏的线型应按 GB4457.4 规定的粗实线和细实线的要求绘制 (参看表 JC4-7 序号 1) ⑤标题栏中的年 月 日应按照 GB2808—81《全数字式日期表示法》规定的格式填写, 例如“1997 年 7 月 1 日”应表示为“19970701”, 或“1997-07-01”, 或“1997 07 01”</p>
2	标题栏的组成	
	更改区	一般由更改标记、处数、分区、更改文件号、签名和年 月 日等组成
	签字区	一般由设计、审核、工艺、标准化、批准、签名和年 月 日等组成
	名称及代号区	一般由单位名称、图样名称和图样代号等组成
	其它区	一般由材料标记、阶段标记、重量、比例、共 张、第 张等组成

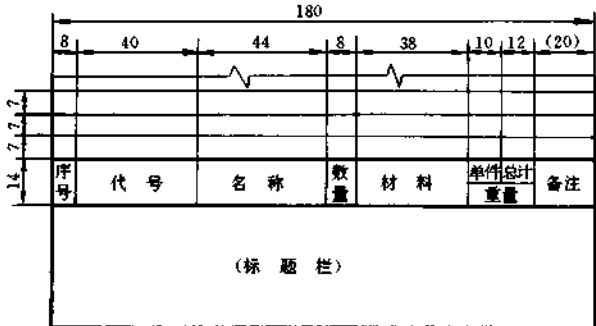
(续)

序号	项目	说明	
3	更改区	一般要求	其中内容应按由下而上的顺序填写,也可根据实际情况顺延,或放在图样中其它地方,但应有表头
		标记	按照有关规定或要求填写更改标记
		处数	填写同一标记所表示的更改数量
		分区	必要时,按照有关规定填写
		更改文件号	填写更改所依据的文件号
		签名和年月日	填写更改人的姓名和更改的时间
4	签字区	一般要求	一般按设计、审核、工艺、标准化、批准等有关规定签署姓名和年月日
5	名称及代号区	单位名称	填写绘制图样的单位名称或单位代号。必要时,也可不予填写
		图样名称	填写所绘制对象的名称
		图样代号	按有关标准或规定填写图样的代号
6	其它区	材料标记	对于需要该项目的图样,一般应按照相应标准或规定填写所使用的材料
		阶段标记	按有关规定由左向右填写图样的各生产阶段
		重量	填写所绘制图样相应产品的计算重量,以千克(公斤)为计量单位时,允许不写出其计量单位
		比例	填写绘制图样时所采用的比例
		共张第张	填写同一图样代号中图样的总张数及该张所在的张次
7	标准格式与尺寸	<p>格式一</p> <p>格式二</p>	
	示例		

注:供电工程图纸通常采用GBJ1—86《房屋建筑制图统一标准》规定的标题栏及会签栏的格式与尺寸,可参看刘介才主编的《工厂供电简明设计手册》表ZD15-3,机械工业出版社,1993版。

4. 工程图样中的明细栏要求 GB10609.2—89《技术制图·明细栏》的规定如表 JC4-5 所示。

表 JC4-5 工程图样中的明细栏要求 (据 GB10609.2—89)

序号	项目	说明	
1	基本要求	<p>①装配图中一般应有明细栏</p> <p>②明细栏一般配置在装配图中标题栏的上方,按由下而上的顺序填写,其格数按需要而定。当由下而上延伸位置不够时,可紧靠在标题栏的左边自下而上延续</p> <p>③当装配图中不能在标题栏的上方配置明细栏时,可作为装配图的续页在 A4 幅面单独绘出。其顺序应是由上而下延伸。还可连续加页,但应在明细栏的下方配置标题栏,并在标题栏中填写与装配图相一致的名称和代号</p> <p>④当有两张或两张以上同一图样代号的装配图而又按照上述②条配置明细栏时,明细栏应放在第一张装配图上</p> <p>⑤明细栏中的字体应符合 GB/T14691—93 的要求 (参看表 JC4-6)</p> <p>⑥明细栏的线型应按 GB4457.4 中规定的粗实线和细实线的要求绘制 (参看表 JC4-7 序号 1)</p>	
2	明细栏的组成	一般由序号、代号、名称、数量、材料、重量 (单件、总计)、分区、备注等组成,也可按实际需要增加或减少	
3	明细栏的填写	序号	填写图样中相应组成部分的序号
		代号	填写图样中相应组成部分的图样代号或标准号
		名称	填写图样中相应组成部分的名称,必要时也可写出其型号与尺寸
		数量	填写图样中相应组成部分在装配中所需要的数量
		材料	填写图样中相应组成部分的材料标记
		重量	填写图样中相应组成部分单件和总件数的计算重量。以千克 (公斤) 为计量单位时,允许不写出其计量单位
		备注	必要时,应按照有关规定将分区代号填写在备注栏中
4	装配图中的明细栏 (示例)		
		格式一	

(续)

序号	项目	说明
4	装配图中的明细栏 (示例)	
	作为装配图续页的 明细栏 (示例)	<p style="text-align: center;">格式二</p>



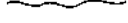

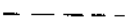


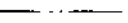



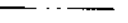
5. 工程图样中的字体要求 GB/T14691—93《技术制图·字体》的规定,如表 JC4-6 所示。该标准取代 GB4457.3—84《机械制图·字体》。

表 JC4-6 工程图样中的字体要求 (据 GB/T 14691—93)













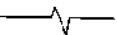
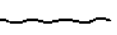
序号	项目	有关规定和要求
1	书写字体总的要求	必须做到: 字体工整、笔画清楚、间隔均匀、排列整齐
2	书写字体的高度	字体高度 (用 h 表示) 的公称尺寸系列为: 1.8, 2.5, 3.5, 5, 7, 10, 14, 20mm 如需要书写更大的字, 其字体高度应按 $\sqrt{2}$ 的比率递增 字体高度代表字体的号数
3	汉字书写要求	汉字应写成长仿宋体字, 并应采用中华人民共和国国务院正式公布推行的《汉字简化方案》中规定的简化字。汉字的高度 h 不应小于 3.5mm, 其字宽一般为 $h/\sqrt{2}$
4	字母和数字的书写要求	字母和数字分 A 型和 B 型 A 型字体的笔画宽度 (d) 为字高 (h) 的 1/14; B 型字体的笔画宽度 (d) 为字高 (h) 的 1/10 在同一图纸上, 只允许选用一种型式的字体 字母和数字可写成斜体和直体。斜体字字头向右倾斜, 与水平基准线成 75°
5	其它规定	①用作指数、分数、极限偏差、注脚等的数字和字母, 一般应采用小一号的字体 ②图样中的数学符号、物理量符号、计量单位符号以及其它符号、代号, 应分别符合国家的有关法令和标准的规定

6. 图线的型式及其应用 如表 JC4-7 所示。

表 JC4-7 图线的型式及其应用

序号	名称	图线型式	图线宽度	一般应用	
1	GB4457.4《机械制图·图线》的规定				
1.1	粗实线		图线分为粗细两种。粗线的宽度 b 应按图的大小和复杂程度,在 0.5~2mm 之间选择。细线的宽度约为 $b/3$ 图线宽度 b 的推荐系列为: 0.18, 0.25, 0.35, 0.5, 0.7, 1.0, 1.4, 2mm, 其中 0.18mm 宽的图线因图样复制困难,应避免采用	可见轮廓线,可见过渡线	
1.2	细实线			约 $b/3$	尺寸线及尺寸界线,剖面线,重合剖面的轮廓线,螺纹的牙底线及齿轮的齿根线,引出线,分界线及范围线,弯折线,辅助线,不连续的同—表面的连线,成规律分布的相同要素的连线
1.3	波浪线			约 $b/3$	断裂处的边界线,视图和剖视的分界线
1.4	双折线			约 $b/3$	断裂处的边界线
1.5	虚线			约 $b/3$	不可见轮廓线,不可见过渡线
1.6	细点划线			约 $b/3$	轴线,对称中心线,轨迹线,节圆及节线
1.7	粗点划线			b	有特殊要求的线或表面的表示线
1.8	双点划线			约 $b/3$	相邻辅助零件的轮廓线,极限位置的轮廓线,坯料的轮廓线或毛坯图中制成品的轮廓线,试验或工艺用结构(成品上不存在的)的轮廓线,中断线
2	GB6988—86《电气制图》的规定				
2.1	实线		图线型式不分粗细 图线宽度一般从以下系列中选取: 0.25, 0.35, 0.5, 0.7, 1.0, 1.4mm。通常选用两种宽度的图线,粗线宽度为细线的两倍。但在某些图中,可能需要两种以上宽度的图线,则线的宽度应以 2 的倍数依次递增	基本线,简图主要内容用线,可见轮廓线,可见导线	
2.2	虚线			辅助线,屏蔽线,机械连接线,不可见轮廓线,不可见导线,计划扩展内容用线	
2.3	点划线			分界线,结构围框线,功能围框线,分组围框线	
2.4	双点划线			辅助围框线	

(续)

序号	名称	图线型式	图线宽度	一般应用
3	GBJ1—86《房屋建筑制图统一标准》的规定			
3.1	实线	粗		b 主要可见轮廓线
		中		$0.5b$ 可见轮廓线
		细		$0.35b$ 可见轮廓线, 图例线等
3.2	虚线	粗		b (见有关专业制图标准)
		中		$0.5b$ 不可见轮廓线
		细		$0.35b$ 不可见轮廓线, 图例线等
3.3	点划线	粗		b (见有关专业制图标准)
		中		$0.5b$ (见有关专业制图标准)
		细		$0.35b$ 中心线, 对称线等
3.4	双点划线	粗		b (见有关专业制图标准)
		中		$0.5b$ (见有关专业制图标准)
		细		$0.35b$ 假想轮廓线, 成型前原始轮廓线
3.5	折断线		$0.35b$ 断开界线	
3.6	波浪线		$0.35b$ 断开界线	

图线分粗、中、细三种
图线宽度 b 应从以下系列中选取:
0.18, 0.25, 0.35, 0.5, 0.7, 1.0, 1.4, 2.0mm。但需缩微的图线, 不宜采用 0.18mm 宽的图线

7. 工程图样的比例及供电工程中常用的比例 工程图样的比例, 按 GB/T14690—93《技术制图·比例》规定, 如表 JC4-8 所示。该标准取代 GB4457.2—84《机械制图·比例》。供电工程制图中常用的比例, 如表 JC4-9 所示。

表 JC4-8 工程图样中的比例 (据 GB/T14690—93)

序号	项 目	规 定 的 比 例			
1	基本比例	原值比例	1 : 1		
		放大比例	5 : 1	2 : 1	
			$5 \times 10^n : 1$	$2 \times 10^n : 1$	$1 \times 10^n : 1$
缩小比例	1 : 2	1 : 5	1 : 10		
		$1 : 2 \times 10^n$	$1 : 5 \times 10^n$	$1 : 1 \times 10^n$	
2	其它比例 (必要时可用)	放大比例	4 : 1	2.5 : 1	
			$4 \times 10^n : 1$	$2.5 \times 10^n : 1$	
		缩小比例	1 : 1.5	1 : 2.5	1 : 3
$1 : 1.5 \times 10^n$	$1 : 2.5 \times 10^n$		$1 : 3 \times 10^n$		
1 : 4	1 : 6				
		$1 : 4 \times 10^n$	$1 : 6 \times 10^n$		

注：表中 n 均为正整数。

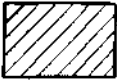

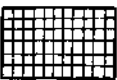
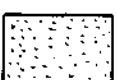
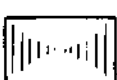
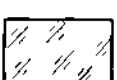
表 JC4-9 供电工程制图中常用的比例

序号	比 例	适 用 范 围
1	1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500	工厂总平面图
2	1 : 200, 1 : 100, 1 : 50	建筑物的平、剖面图；采用 A2 图样时，工厂总变、配电所多采用 1 : 100，车间变电所多采用 1 : 50
3	1 : 50, 1 : 20, 1 : 10	建筑物的局部放大图
4	1 : 20, 1 : 10, 1 : 5	装置的配件及其构造详图

(三) 机械制图的剖面符号及图样画法

1. 机械制图的剖面符号 GB4457.5—84《机械制图·剖面符号》的规定，如表 JC4-10 所示。

表 JC4-10 机械制图的剖面符号 (据 GB4457.5—84)

序号	类 别	剖面符号	序号	类 别	剖面符号
1	金属材料 (已有规定剖面符号者除外)		4	非金属材料 (已有规定剖面符号者除外)	
2	线圈绕组元件		5	型砂、填砂、粉末冶金、砂轮、陶瓷刀片、硬质合金刀片等	
3	转子、电枢、变压器和电机器的迭钢片		6	玻璃及供观察用的其它透明材料	

(续)

序号	类别	剖面符号	序号	类别	剖面符号
7	木材		11	钢筋混凝土	
8	木质胶合板 (不分层数)		12	砖	
9	基础周围的泥土		13	格网 (筛网、过滤网等)	
10	混凝土		14	液体	

注：1. 剖面符号仅表示材料的类别，材料的名称和代号必须另行注明。

2. 迭钢片的剖面线方向，应与束装中迭钢片的方向一致。

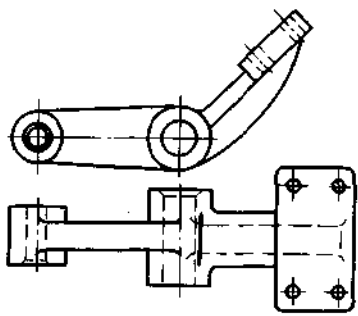
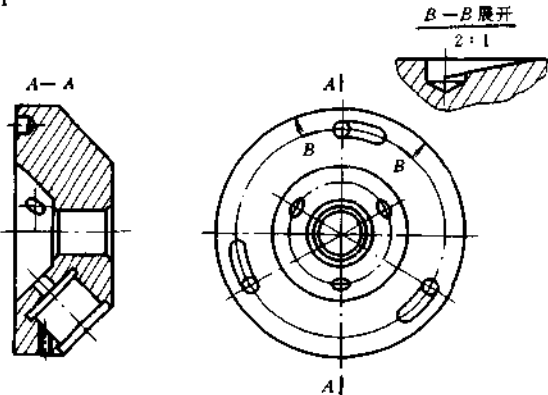
3. 液面用细实线绘制。

2. 机械制图的视图和剖视图 按 GB4458.1—84《机械制图·图样画法》的规定，其视图和剖视图的画法如表 JC4-11 所示。制图各种表达方法的适用范围如表 JC4-12 所示。

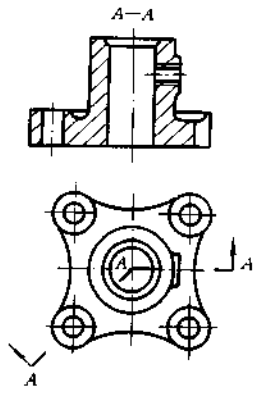
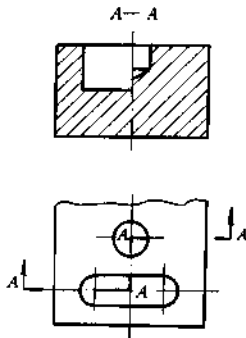
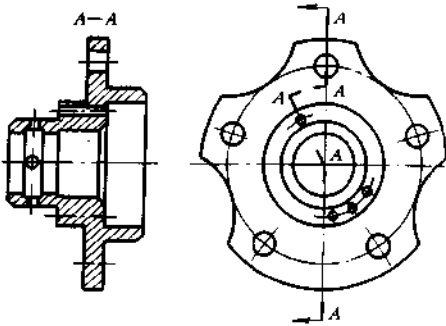
表 JC4-11 机械制图的视图和剖视图画法 (据 GB4458.1—84)

序号	项目	有关规定和要求
1	总的要求	<p>①绘制机械图样时，应首先考虑看图方便。根据机件的结构特点，选用适当的表达方法。在完整、清晰地表达机件各部分形状的前提下，力求制图简便</p> <p>②机件的图形按“正投影法”绘制，并采用“第一角投影法”</p>
2	基本视图的配置关系	
3	斜视图的画法	<p>将机件向不平行于任何基本投影面的平面投影。其画法如下：</p> <p>①配置在投影方向 ②旋转配置</p>

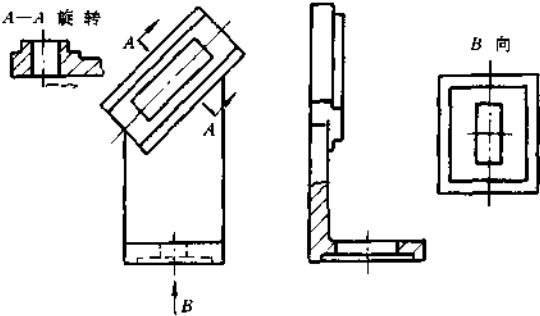
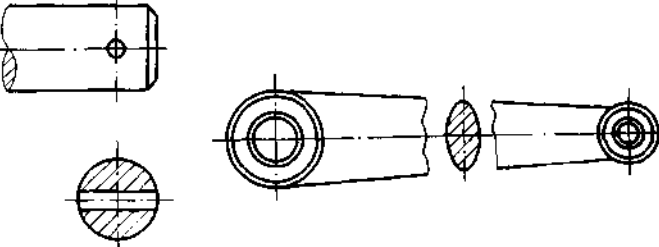
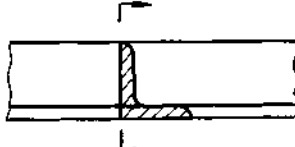
(续)

序号	项 目	有 关 规 定 和 要 求
4	旋转视图的画法	<p>假想将机件的倾斜部分旋转到与某一选定的基本投影面平行,然后再向该投影面投影。如图所示</p> 
5	剖视图的标注	<p>即剖切位置线,用长约5~10mm的粗实线表示剖切线的起讫位置,但不要与图形轮廓线相交</p> <p>在剖切位置线的起讫点外侧画出其相垂直的箭头,表示剖切后的投影方向</p> <p>在剖切位置线的起讫及转折处写上同一字母,并在所画剖视图上方用相同字母标注出剖视图的名称,例如“A—A”、“B—B”等</p> <p>①当剖切后的图形按投影关系配置,中间又没有其它图形隔开时,可省略箭头 ②当剖切平面通过机件的对称平面,且剖视图按投影关系配置,中间又没有其它图形隔开时,可省略标注 ③剖切位置明显的局部剖视,标注可省略</p>
6	剖视图的种类	<p>全剖视图 用剖切平面完全地剖开机件所得的剖视图</p> <p>半剖视图 当机件具有对称平面时,在垂直于对称平面的投影面上投影所得的图形,可以对称中心线为界,一半画成剖视,另一半画成视图</p> <p>局部剖视图 用剖切平面局部地剖开机件所得的剖视图</p>
7	剖切方法 单一剖 (含平面剖和柱面剖)	<p>一般用平面剖切机件,也可用柱面剖切机件。采用柱面剖切机件时,剖视图应按展开绘制。下图中A—A为平面剖;B—B为柱面剖,其放大比例为2:1</p> 

(续)

序号	项 目	有 关 规 定 和 要 求	
7	剖 切 方 法	旋转剖	<p>用两相交的剖切平面(交线垂直于某一基本投影面)剖开机件的方法,称为旋转剖。如图所示</p>
			
		<p>用几个平行的剖切平面剖开机件的方法,称为阶梯剖。如图所示</p>	
阶梯剖			
复合剖	<p>除旋转剖、阶梯剖以外,用组合的剖切平面剖开机件的方法,称为复合剖。如图所示</p>		

(续)

序号	项 目	有 关 规 定 和 要 求
7	剖切方法 斜 剖	用不平行于任何基本投影面的剖切平面剖开机件的方法称为斜剖。如图所示 
8	剖面画法 移出剖面 重合剖面	移出剖面的轮廓线用粗实线绘制,而且移出剖面应尽量配置在剖切符号或剖切平面迹线的延长线上。剖面图形对称时,也可画在视图的中断处。必要时也可将移出剖面配置在其它适当的位置  重合剖面的轮廓线用细实线绘制。当视图中的轮廓线与重合剖面的图形重叠时,视图中的轮廓线仍应连续画出,不可间断,如下图所示 
9	简化画法	<ol style="list-style-type: none"> ①在不致引起误解时,零件图中的移出剖面,允许省略剖面符号,但剖切位置和剖面图的标注仍应遵照有关规定 ②当机件具有若干相同结构(齿、槽等),并按一定规律分布时,只需画出几个完整的结构,其余用细实线连接;在零件图中则必须注明该结构的总数 ③若干直径相同且成规律分布的孔(圆孔、螺孔、沉孔等),可以仅画出一个或几个,其余只需点划线表示其中心位置;在零件图中应注明孔的总数 ④网状物、编织物或机件上的滚花部分,可在轮廓线附近用细实线示意画出,并在零件图上或技术要求中注明这些结构的具体要求 ⑤对于机件的肋、轮辐及薄壁等,如按纵向剖切,这些结构都不画剖面符号,而用粗实线将它与其邻接部分分开。当零件回转件上均匀分布的肋、轮辐、孔等结构不处于剖切平面上时,可将这些结构旋转到剖切平面上画出

(续)

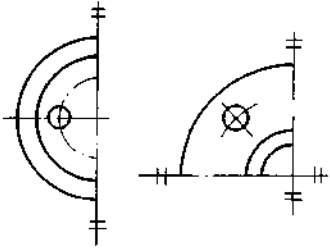

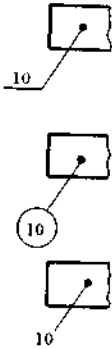
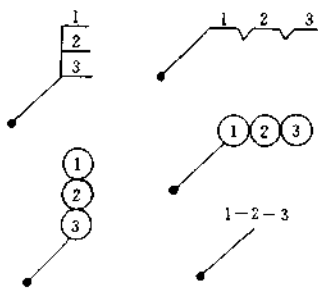
序号	项 目	有 关 规 定 和 要 求
9	简化画法	<p>⑥当图形不能充分表达平面时,可用平面符号(平面的轮廓线内画相交的两细实线)来表示</p> <p>⑦机件上的过渡线、相贯线,在不致引起误解时,允许简化,例如用圆弧或直线代替非圆曲线</p> <p>⑧在不致引起误解时,对于对称机件的视图可以只画1/2或1/4,并在对称中心线的两端画出两条与其垂直的短平行细实线(参看下图)</p>  <p>⑨较长的机件(轴、杆、型材、连杆等)如沿长度方向的形状一致或按一定规律变化时,可断开后缩短绘制</p> <p>⑩与投影面倾斜角度小于等于30°的圆或圆弧,其投影可用圆或圆弧代替</p> <p>⑪在锅炉、化工设备等装配图中,可用点划线表示密集管子</p> <p>⑫其它还有一些简化画法,参看GB4458.1-84,此略</p>

表 JC4-12 机械制图各种表达方法的适用范围

序号	类别	适 用 范 围
1	视图	主要用来表达机件的外部形状
1.1	基本视图	用来表达机件的外形
1.2	局部视图	用来表达机件某一局部的形状
1.3	斜视图	用来表达机件倾斜部分的形状
1.4	旋转视图	用来表达机件上具有回转轴的倾斜部分的形状
2	剖视	主要用来表达机件的内部形状
2.1	全剖视	用来表达机件整个内部形状,这机件具有不对称结构或虽对称但外形较简单
2.2	半剖视	用来表达对称机件的内、外形状
2.3	局部剖视	用来表达机件某一局部的内形,且保留机件该局部的形状
2.4	斜剖视	用来表达机件倾斜部分的内形
2.5	旋转剖视	用来表达机件上绕回转轴分布而不在同一剖切平面上的孔、槽等内形
2.6	阶梯剖视	用来表达机件上不在同一平面上的孔、槽等内形
2.7	复合剖视	用来表达机件上不在同一平面上的几部分内形
3	剖面	用来表达机件的断面形状
3.1	移出剖面	用来表达机件的横断面形状
3.2	重合剖面	在不影响图形清晰的情况下采用

3. 装配图中零、部件序号的编排 GB4458.2—84《机械制图, 装配图中零、部件序号及其编排方法》的规定, 如表 JC4-13 所示。

表 JC4-13 装配图中零、部件序号的编排 (据 GB4458.2—84)

序号	项 目	有 关 规 定 和 要 求
1	一般规定	<p>①装配图中所有的零、部件都必须编写序号</p> <p>②装配图中一个部件只编一个序号。同一装配图中相同的零、部件应编同一序号</p> <p>③装配图中零、部件的序号, 应与明细栏中的序号一致</p> <p>④装配图中的序号应按水平或垂直方向排列整齐</p> <p>⑤装配图中的序号可按顺时针或逆时针方向顺次排列, 也可按明细栏的序号排列</p> <p>⑥指引线应从所指的可见轮廓内引出, 并在末端画一圆点, 如下面左图所示。若所指部分(如很薄的零件或涂黑的剖面)内不便画圆点时, 可在指引线末端画出箭头, 指向该部分的轮廓, 如下面右图所示</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>⑦指引线相互不能相交。当通过有剖面线的区域时, 指引线不应与剖面线平行</p> <p>⑧指引线可以画成折线, 但只可曲折一次</p>
2	序号标注的形式和字高	<p>①在指引线的水平线上注写序号, 序号字高比该装配图中所注尺寸数字高度大1号或2号</p> <p>②在指引线的圆圈内注写序号, 序号字高比该装配图中所注尺寸数字高度大1号或2号</p> <p>③在指引线附近注写序号, 序号字高比该装配图中所注尺寸数字高度大2号</p> <div style="text-align: right;">  </div>
3	采用公共指引线的序号编排	<p>对一组紧固件以及装配关系清楚的零件组, 可采用公共指引线。序号按零件装配顺序从上到下或从左到右编排, 如下图所示</p> <div style="text-align: center;">  </div>

4. 机械图样中尺寸及公差的标注 GB4458.4—84《机械制图·尺寸注法》关于机械图样中尺寸的标注如表 JC4-14 所示; GB4458.5—84《机械制图·尺寸公差与配合注法》关于机械图样中尺寸公差的标注如表 JC4-15 所示。

表 JC4-14 机械图样中尺寸的标注 (据 GB4458.4—84)

序号	项目	有 关 规 定 和 要 求
1	基本规则	<p>①机件的真实大小以图样上所注尺寸数值为依据,与图形大小及绘图准确度无关</p> <p>②图样中(包括技术要求和其它说明)的尺寸,以毫米为单位时,不需标注计量单位</p> <p>③图样中所标注的尺寸,为该图样所示机件的最后完工尺寸,否则应另加说明</p> <p>④机件的每一尺寸,一般只标注一次,并应标注在反映该结构最清晰的图形上</p>
2	尺寸数字的注写	<p>①线性尺寸的数字一般应注写在尺寸线的上方,也允许注写在尺寸线的中断处</p> <p>②当线性尺寸的数字注写在尺寸线的上方时,其数字应垂直于尺寸线(包括非水平方向的尺寸线)。对于非水平方向的尺寸线,其数字也可水平地注写在尺寸线的中断处,或由尺寸线引出一引出线再在水平线上注写数字(这对尺寸线在垂直方向30°以内者更宜)</p> <p>③角度的数字一律写成水平方向,一般注写在尺寸线的中断处。必要时其数字也可水平地注写在尺寸线旁,或由尺寸线引出一引出线再水平地注写数字</p> <p>④尺寸数字不可被任何图线所通过,否则必须将该图线断开</p>
3	尺寸线的绘制	<p>①尺寸线用细实线绘制,其终端可以画成箭头,箭头长与其尾宽之比约为4:1;其终端也可以画一条与尺寸界线成45°的短斜线。尺寸界线与尺寸线必须垂直</p> <p>②标注线性尺寸线,尺寸线必须与所标注的线段平行</p> <p>③圆的直径和圆弧半径的尺寸线的终端应画成箭头</p> <p>④标注角度时,其尺寸线应画成圆弧,其圆心是该角的顶点</p> <p>⑤当对称机件的图形画出一半或略大于一半时,尺寸线应略超过对称中心线或断裂处的边界线,此时仅在尺寸线的一端画出箭头</p> <p>⑥在没有足够的位置画箭头或注写数字时,可按下列图示的形式标注</p>

(续)

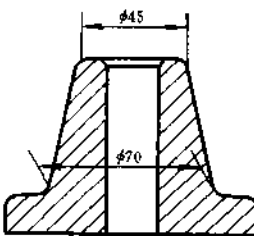
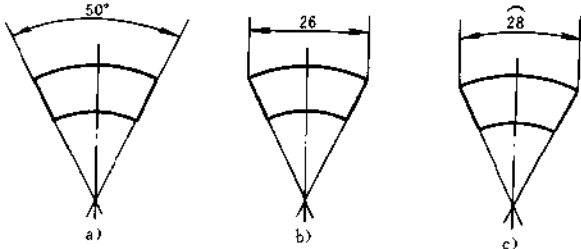
序号	项目	有关规定和要求
4	尺寸界线的绘制	<p>①尺寸界线用细实线绘制，并应由图形的轮廓线、轴线或对称中心线引出；也可直接利用轮廓线、轴线或对称中心线作尺寸界线</p> <p>②尺寸界线一般应与尺寸线垂直；必要时（如下图）才允许倾斜</p> <p>③在光滑过渡处标注尺寸时，必须用细实线将轮廓线延长，从它们的交点处引出尺寸界线（如下图）</p>  <p>④标注角度的尺寸界线，应沿径向引出（如下图 a）。标注弦长或弧长的尺寸界线，应平行于该弦的垂直平分线（如下图 b、c）</p> 
5	标注尺寸的符号	<p>①标注直径时，应在尺寸数字前加注符号“ϕ”；标注半径时，应在尺寸数字前加注符号“R”。标注球面的直径或半径时，应在符号“ϕ”或符号“R”前再加注符号“S”。对于螺钉、铆钉的头部，轴（包括螺杆）的端部以及手柄的端部等，在不致引起误解的情况下可省略符号“S”</p> <p>②标注弧长时，应在尺寸数字上方加注符号“$\widehat{\quad}$”</p> <p>③标注参考尺寸时，应将尺寸数字加上圆括弧</p> <p>④标注剖面为正方形结构的尺寸时，可在正方形边长尺寸数字前加注符号“□”或用“边长×边长”的数字注出</p> <p>⑤标注板状零件的厚度时，可在尺寸数字前加注符号“δ”</p> <p>⑥标注斜度和锥度时，可按倾斜方向分别在倾斜比例数字前加注符号\sphericalangle或\sphericaltriangle（斜度）和符号\sphericalangle或\sphericaltriangle（锥度），符号的方向应与斜度、锥度的方向一致</p> <p>⑦各种孔（光孔、螺孔、沉孔等）可采用旁注的方法标注。例如对某光孔（共4个）标注4-$\phi 4$深10，对某螺孔（共3个）标注3-M6-7H深10，对某沉孔（共6个）标注6-$\phi 7$沉孔$\phi 13 \times 90^\circ$（其它标注从略）</p>

表 JC4-15 机械图样中尺寸公差的标准 (据 GB4458.5-84)

序号	项 目	有 关 规 定 和 要 求
1	线性尺寸公差的标准形式	<p>①当采用公差代号标注线性尺寸的公差时,公差带的代号应在基本尺寸的右边,例如 $\phi 65K6, \phi 65H7$</p> <p>②采用极限偏差标注线性尺寸的公差时,上偏差应在基本尺寸的右上方,而下偏差应与基本尺寸注在同一底线上,例如 $\phi 65_{+0.002}^{+0.021}, 125_{-0.2}^{+0.1}, 50 \pm 0.31$</p> <p>③当要求同时标注公差代号和相应的极限偏差时,后者应加上圆括号,例如 $\phi 65K6_{(+0.021, +0.002)}, \phi 65H7_{(+0.03, 0)}$</p>
2	线性尺寸公差的附加符号注法	<p>①当尺寸仅需要限制单个方向的极限时,应在该极限尺寸的右边加注“max”或“min”</p> <p>②同一基本尺寸的表面,如具有不同的公差时,应该用细实线分开,并按本表序号1规定的形式分别标注其公差</p> <p>③如果要素的尺寸公差和形状公差的关系遵循包容原则时,应在尺寸公差的右边加注符号“(E)”,例如 $\phi 10h6(E), 20_{-0.013}^0(E)$</p>
3	角度公差的标准方法	其基本规则与线性尺寸公差的标准方法相同,例如 $30^{\circ}_{-20'}^{+15'}$, $20^{\circ}\max$
4	装配图中的公差标注方法	<p>①在装配图中标注线性尺寸的配合代号时,必须在基本尺寸的右边用分数的形式注出,分子为孔的公差带代号,分母为轴的公差带代号,例如 $\phi 30_{\frac{H7}{f6}}$ 或 $\phi 30H7/f6$</p> <p>②在装配图中标注相配零件的极限偏差时,一般采用孔的基本尺寸和极限偏差注写在尺寸线的上方,轴的基本尺寸和极限偏差注写在尺寸线的下方,例如</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p>③标注标准件、外购件与零件(轴或孔)的配合代号时,可以只标注相配零件的公差带代号</p>

(四) 建筑制图的图例符号及图样画法

1. 常用建筑材料图例 GBJ1-86《房屋建筑制图统一标准》中关于“常用建筑材料图例”的规定,如表 JC4-16 所示。



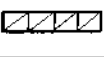
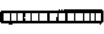
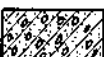
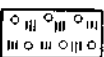
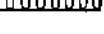

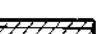
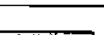

表 JC4-16 常用建筑材料图例 (据 GBJ1-86)

序号	类 别	图 例	说 明
1	自然土壤		包括各种自然土壤
2	夯实土壤		
3	砂、灰土		靠近轮廓线,点较密的点
4	砂砾石、碎砖、三合土		

00

共 1 页

(续)

序号	类别	图例	说明
5	天然石材		包括岩层、砌体、铺地、贴面等材料
6	毛石		
7	普通砖		①包括砌体、砌块 ②断面较窄,不易画出图例线时,可涂红
8	耐火砖		包括耐酸砖等
9	空心砖		包括各种多孔砖
10	饰面砖		包括铺地砖、马赛克、陶瓷饰砖、人造大理石等
11	混凝土		①本图例仅适用于能承重的混凝土及钢筋混凝土 ②包括各种标号、骨料、添加剂的混凝土
12	钢筋混凝土		③在剖面图上画出钢筋时,不画图例线 ④断面较窄,不易画出图例线时,可涂黑
13	焦渣、矿渣		包括与水泥、石灰等混合而成的材料
14	多孔材料		包括水泥珍珠岩、沥青珍珠岩、泡沫混凝土、非承重加气混凝土、泡沫塑料、软木等
15	纤维材料		包括麻丝、玻璃棉、矿渣棉、木丝板、纤维板等
16	松软材料		包括木屑、石灰木屑、稻壳等
17	木材		①上图为横断面,左上图为垫木、木砖、木龙骨 ②下图为纵断面
18	胶合板		应注明×层胶合板
19	石膏板		
20	金属		①包括各种金属 ②图形小时,可涂黑
21	网状材料		①包括金属、塑料等网状材料 ②注明材料

(续)

序号	类别	图例	说明
22	液体		注明液体名称
23	玻璃		包括平板玻璃、磨砂玻璃、夹丝玻璃、钢化玻璃等
24	橡胶		
25	塑料		包括各种软、硬塑料及有机玻璃等
26	防水材料		构造层次多或比例较大时,采用上面图例
27	粉刷		本图例点以较稀的点

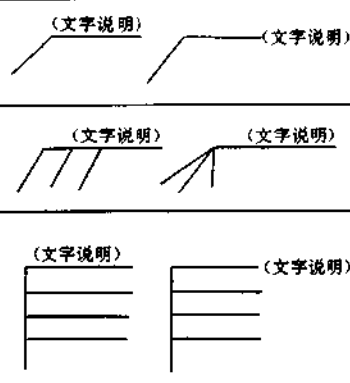
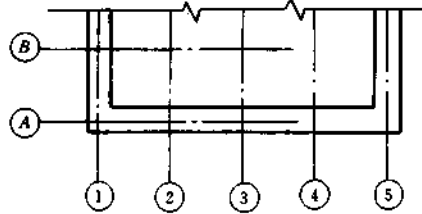
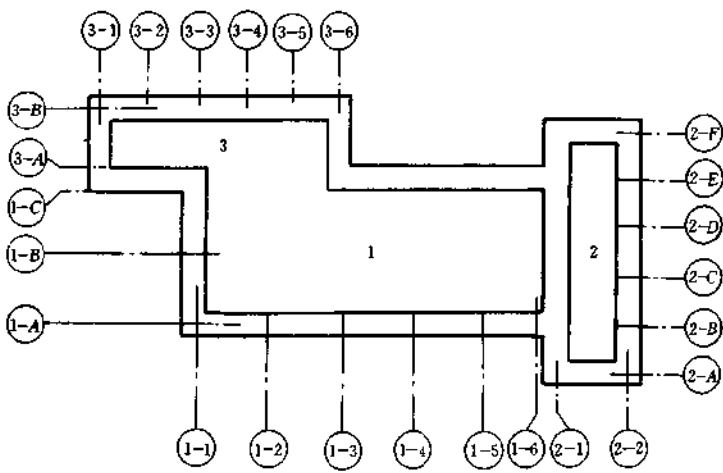
注:序号 1、2、5、7、8、12、14、18、20、24、25 图例中的斜线、短斜线、交叉斜线等一律为 45°。

2. 建筑制图的常用符号 GBJ1—86《房屋建筑制图统一标准》关于“符号”的规定,摘要如表 JC4-17 所示。

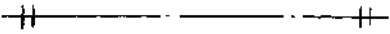
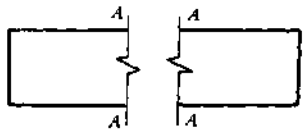

表 JC4-17 建筑制图的常用符号 (据 GBJ1—86)

序号	项目	有关规定和要求
1	剖面的剖切符号	<p>①剖面的剖切符号由剖切位置线及剖视方向线组成,均应以粗实线绘制。剖切位置线的长度宜为 6~10mm;剖视方向线的长度略短,宜为 4~6mm。剖切符号不宜与图面上的图线相接触。</p> <p>②剖面剖切符号的编号,宜采用阿拉伯数字,按顺序由左至右,由上至下连续编排,并应注写在剖视方向线的端部。</p> <p>③需要转折的剖切位置线,在转折处如与其它图线发生混淆,应在转角的外侧加注与该符号相同的编号。</p>
	断面的剖切符号	<p>①断面的剖切符号,应只用剖切位置线表示,并应以粗实线绘制,长度宜为 6~10mm。</p> <p>②断面剖切符号的编号,宜采用阿拉伯数字,按顺序连续编排,并应注写在剖切位置线的一侧,编号所在的一侧应为该断面的剖视方向。</p>

(续)

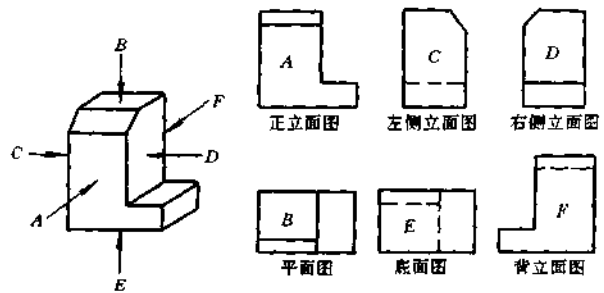
序号	项目	有关规定和要求
2	引出线画法	<p>采用细实线绘制</p> 
3	定位轴线	<p>①定位轴线用细点划线绘制</p> <p>②定位轴线的编号应注写在轴线端部的圆内, 圆用细实线绘制, 直径 8mm, 详图上可增为 10mm</p> <p>③平面图上定位轴线的编号, 宜标注在图样的下方与左侧, 横向编号采用阿拉伯数字, 从左至右顺序编写, 竖向编号采用大写拉丁字母, 从下至上顺序编写, 如下图所示</p>  <p>④拉丁字母的 I、O、Z 不得用作轴线编号。如字母数量不够使用, 可增用双字母或单字母加数字注脚, 如 AA、BB、…YY, 或 A₁、B₁、…Y₁</p> <p>⑤定位轴线也可采用分区编号, 如下图所示, 编号的注写形式应为分区号-该区轴线号</p> 

(续)

序号	项目	有关规定和要求
4	其它符号	<p>对称符号</p> <p>采用细线绘制。平行线的长度宜为 6~10mm, 平行线的间距宜为 2~3mm, 如下图所示 (例见表 JC4-11 序号 9 附图)</p> 
		<p>连接符号</p> <p>应以折断线表示需连接的部位。在折断线两端靠图样一侧用大写拉丁字母表示连接编号。两个被连接的图样, 必须用相同的字母编号, 如下图所示 (A 为连接编号)</p> 
		<p>指北针</p> <p>宜用细实线绘制, 其形状如下图所示。圆的直径宜为 24mm, 指北针尾部的宽度宜为 3mm。需用较大直径绘制指北针时, 指针尾部宽度宜为其圆的直径的 1/8</p> 

3. 建筑制图的图样画法 GBJ1—86《房屋建筑制图统一标准》中关于“图样画法”的规定, 摘要如表 JC4-18 所示。

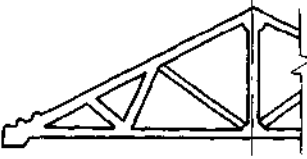
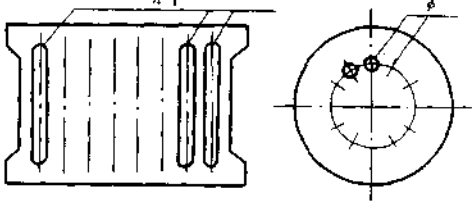
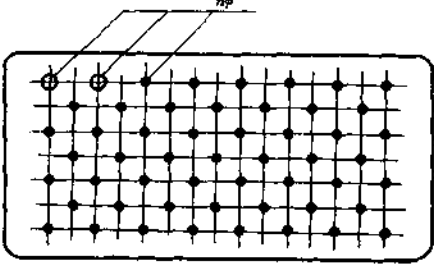
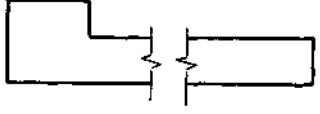
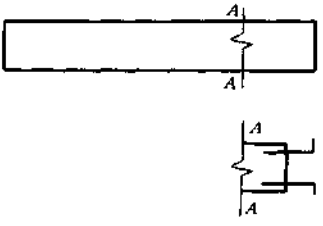
表 JC4-18 建筑制图的图样画法 (据 GBJ1—86)

序号	项目	有关规定和要求
1	投影法	<p>房屋建筑的图样, 应按“直接正投影法”绘制, 如下图所示</p> 
2	图样布置	<p>排列顺序</p> <p>在同一张图纸上, 如绘制几个图样时, 图样的顺序, 应按主次关系从左至右依次排列</p>
		<p>图名标注</p> <p>每个图样, 一般均应标注图名。图名宜标注在图样的下方或一侧, 并在图名下绘一粗横线, 其长度应以图名所占长度为准。使用详图符号作为图名时, 符号下不画粗横线</p>
		<p>分区组合示意图</p> <p>分区绘制的建筑平面图, 应绘制组合示意图, 指出该区在建筑平面中的位置。各分区图样的分区部位及编号均应一致, 并应与组合示意图一致</p>
		<p>布图方向与总平面图</p> <p>同一工程不同专业的总平面图, 在图纸上的布图方向均应一致。个体建(构)筑物平面图在图纸上的布图方向, 必要时可与其总平面图上的布图方向不一致, 但必须标明方位。不同专业的同一个体建(构)筑物的平面图, 在图纸上的布图方向均应一致</p>
		<p>立面图的展开</p> <p>立面的某些部分, 如与投影面不平行(如圆形、折线形、曲线形等), 可将该部分展至与投影面平行, 再以直接正投影法绘制, 并应在图名后注写“展开”字样</p>

(续)

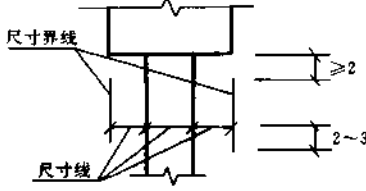
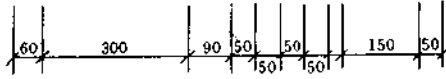
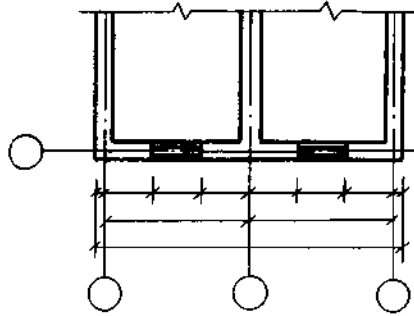
序号	项 目	有 关 规 定 和 要 求
3	定义	<p>断面图内只宜画出剖切面切到部分的图形；而剖面图内除应画出断面图形外，还应画出沿投影方向看到的部分</p> <p>[编者注] 此处定义的“断面图”与机械制图标准定义的“剖面图”相同；此处定义的“剖面图”与机械制图标准定义的“剖视图”相同</p>
	断面图和剖面图	<p>①用一个剖切面剖切，如下图 a</p> <p>②用两个或两个以上平行的剖切面剖切，如下图 b</p> <div data-bbox="662 649 1101 851" style="text-align: center;"> </div> <p>③用两个或两个以上相交的剖切面剖切。用此法剖切时，应在剖面图的图名后加注“展开”字样</p> <div data-bbox="678 929 1085 1041" style="text-align: center;"> </div> <p>④分层剖切剖面图，应按层次以波浪线将各层隔开，波浪线不应与任何图线重合</p> <div data-bbox="710 1153 1053 1377" style="text-align: center;"> </div>
	断面图位置	<p>①断面图宜按顺序依次排列，如表 JC4-17 序号 1 中“断面的剖切符号”附图所示</p> <p>②杆件的断面图可画在靠近杆件的端部处或中断处，如右图所示</p> <div data-bbox="702 1534 1069 1601" style="text-align: center;"> </div> <p>③结构梁板断面图可画在结构布置图上，如下图所示</p> <div data-bbox="670 1680 1101 1926" style="text-align: center;"> </div>

(续)



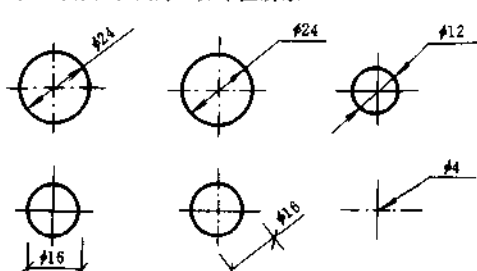
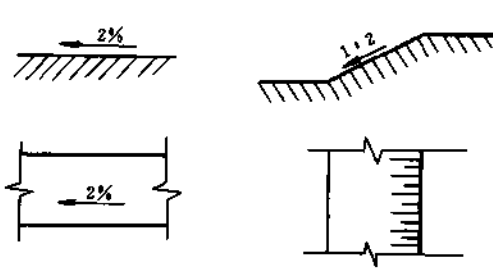
序号	项 目	有 关 规 定 和 要 求
	对称图形的省略画法	<p>① 构配件的对称图形, 可只画该图形的 1/2 或 1/4, 并画出“对称符号”(注: 与表 JC4-11 序号 9 中⑧条规定相同。)</p> <p>② 对称的形体, 需画剖(断)视图时, 也可以“对称符号”为界, 一半画外形图, 一半画剖(断)视图</p> <p>③ 构配件的对称图形, 也可画得稍超出图样的对称线, 这时不需画对称符号, 而在折断处画折断线, 如右图所示</p> 
4	简化画法	<p>① 构配件内多个完全相同而连续排列的构造要素, 可仅在两端或适当位置画出其完整形状, 其余部分以中心线或中心线交点表示, 如下图所示</p>  <p>② 如果相同构造要素少于中心线交点, 则其余部分应在相同构造要素位置的中心线交点处用小圆点表示, 如下图所示</p> 
	较长构件的省略画法	<p>较长的构件, 如沿长度方向的形状相同或按一定规律变化, 可断开省略绘制, 断开处应以折断线表示, 如图所示</p> 
	构件局部不同的省略画法	<p>一个构配件, 如与另一构配件仅部分不同, 则该构配件可只画不同部分, 但应在两个构配件的相同部分与不同部分的分界线处, 分别绘制连接符号, 两个连接符号应对准在同一线上, 如右图所示</p> 

4. 建筑制图的尺寸标注 GBJ1—86《房屋建筑制图统一标准》中关于“尺寸标注”的规定, 摘要如表 JC4-19 所示。

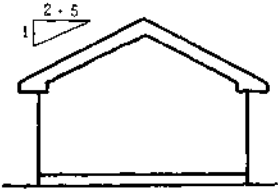
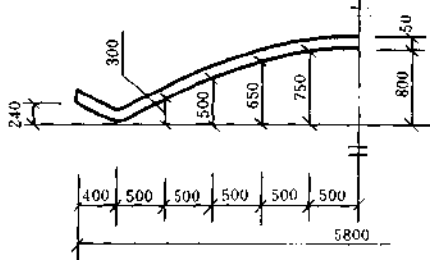
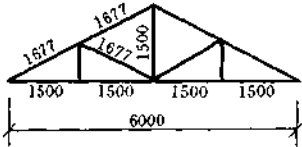
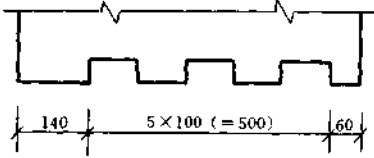
表 JC4-19 建筑制图的尺寸标注 (据 GBJ1—86)

序号	项目	有关规定和要求
1	尺寸的标注符号	<p>①尺寸界线应用细实线绘制。一般应与被注长度垂直, 其一端应离开图样轮廓线不小于 2mm, 另一端宜超出尺寸线 2~3mm。必要时, 图样轮廓线可用作尺寸界线, 如右图所示 (注: 机械制图标准中无尺寸界线应离开轮廓线的规定。)</p>  <p>②尺寸线应用细实线绘制, 应与被注长度平行, 且不宜超出尺寸界线。任何图线均不得用作尺寸线</p> <p>③尺寸起止符号一般应用中粗斜短线绘制, 其倾斜方向应与尺寸界线成顺时针 45°角, 长度宜为 2~3mm</p> <p>④半径、直径、角度和弧长的尺寸起止符号, 宜用箭头表示。箭头长与其尾宽之比为 4~5, 箭头角度约为 15°</p>
2	尺寸数字的注写	<p>①图样上的尺寸, 应以尺寸数字为准, 不得从图上直接量取</p> <p>②尺寸数字的注写方向, 一般应注写在靠近尺寸线的上方中部, 数字垂直于尺寸线 (包括非水平方向的尺寸线)。如果尺寸线在垂直方向 30°以内时, 则数字宜水平地注写在尺寸线的中断处, 也可由尺寸线引出一引出线再在其末端的水平线上注写尺寸数字</p> <p>③如果没有注写尺寸数字的足够位置时, 则最外边的尺寸数字可注写在尺寸界线的外侧, 中间相邻的尺寸数字可错开注写, 也可引出注写, 如下图所示</p> 
3	尺寸的布置与排列	<p>①尺寸宜标注在图样轮廓线以外, 不宜与图线、文字及符号等相交</p> <p>②图线不得穿过尺寸数字。不可避免时, 应将尺寸数字处的图线断开</p> <p>③互相平行的尺寸线, 应从被注的图样轮廓线由近向远整齐排列, 小尺寸应离轮廓线较近, 大尺寸应离轮廓线较远, 如下图所示</p> 

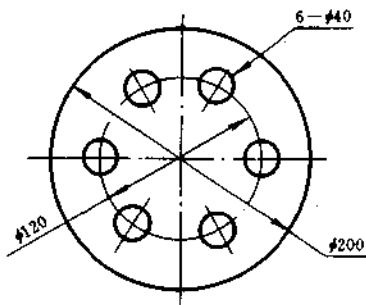
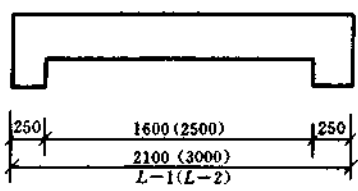
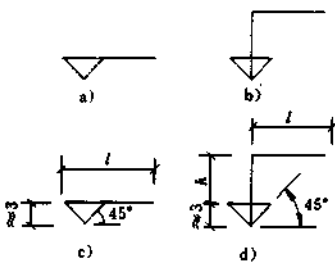
(续)

序号	项目	有关规定和要求
4	半径、直径、球的尺寸标注	<p>①半径的尺寸线，应一端从圆心开始，另一端画箭头指向圆弧。半径数字前应加注符号“R”</p> <p>②较小圆弧的半径，可按下列图示的形式标注</p>  <p>③较大圆弧的半径，可按下列图示的形式标注</p>  <p>④标注圆的直径尺寸时，直径数字前应加注符号“φ”。在圆内标注的直径尺寸线应穿过圆心，两端画箭头指至圆弧</p> <p>⑤较小圆的直径尺寸，可标注在圆外，如下图所示</p>  <p>⑥标注球的半径尺寸时，应在尺寸数字前加注符号“SR”。标注球的直径尺寸时，应在尺寸数字前加注符号：“Sφ”。注写方法与圆弧半径和圆直径的尺寸标注方法相同</p>
5	其它尺寸的标注	<p>①角度、弧度、弦长的尺寸标注，与机械制图标准的规定相同（参看表 JC4-14 序号 4 中④及序号 5 中②）</p> <p>②薄板厚度及正方形的尺寸标注，也与机械制图标准的相应规定基本相同（分别参看表 JC4-14 序号 5 中③及④）</p> <p>③标注坡度时，在坡度数字下，应加注坡度符号，如下图所示。坡度符号的箭头，指向下坡方向</p> 

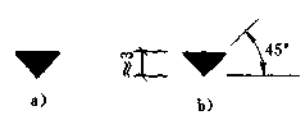
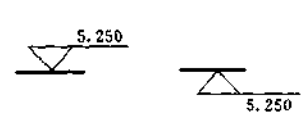
(续)

序号	项目	有关规定和要求
5	其它尺寸的标注	<p>坡度也可用直角三角形形式标注, 如下图所示</p>  <p>④外形为非圆曲线的构件, 可用坐标形式标注尺寸, 如下图所示</p> 
6	尺寸的简化标注	<p>①杆件或管线的长度, 在单线图 (桁架简图、钢筋简图、管线图等) 上, 可直接将尺寸数字沿杆件或管线的一侧注写, 如下图所示</p>  <p>②连续排列的等长尺寸, 可用“个数×等长尺寸=总长”的形式标注, 如下图所示</p> 

(续)

序号	项目	有关规定和要求
6	尺寸的简化标注	<p>③构配件内的构造要素如相同, 可仅标注其中一个要素的尺寸, 如下图所示</p>  <p>④对称构配件采用对称省略画法时, 该对称构配件的尺寸线应略超过对称符号</p> <p>⑤两个构配件, 如仅个别尺寸数字不同, 可在同一图样中, 将其中一个构配件的不同尺寸数字注写在括号内, 该构配件的名称也应注写在相应的括号内, 如下图所示</p>  <p>⑥数个构配件, 如仅某些尺寸不同, 这些有变化的尺寸数字, 可用拉丁字母 (如 a、b、c 等) 注写在同一图样中; 另列表格写明各个构配件 (可标编号) 的具体尺寸</p>
7	标高	<p>①个体建筑物图样上的标高符号, 应按以下图 a 所示形式以细实线绘制, 如标注位置不够, 可按以下图 b 所示形式以细实线绘制, 标高符号的具体画法如以下图 c、图 d 所示</p>  <p><i>l</i>—注写标高数字的长度 <i>h</i>—高度, 视需要而定</p>

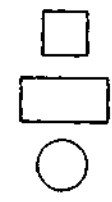

(续)

序号	项目	有关规定和要求
7	标高	<p>②总平面图上的标高符号,宜用涂黑的三角形表示,如下面图 a 所示,具体画法如图 b 所示</p>  <p>③标高符号的尖端,应指至被注的高度,尖端可向下,也可向上,如下图所示</p>  <p>④标高数字应以米 (m) 为单位,注写到小数点以后第三位。在总平面图中,可注写到小数点以后第二位</p> <p>⑤零点标高应注写为±0.000。正数标高不注“+”,负数标高应注“-”,例如 3.000、-0.600</p>

(五) 电气制图的图形符号、文字符号及图样画法

1. 常用的电气图用图形符号 GB4728—84、85《电气图用图形符号》的规定,摘录如表 JC4-20 所示。表中“IEC”栏中标“=”者表示该图形符号与国际电工委员会标准 IEC617《绘图用图形符号》相同。

表 JC4-20 常用的电气图用图形符号 (据 GB4728—84、85)







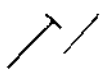
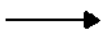
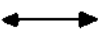
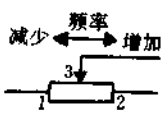



序号	图形符号	说明	IEC
1	符号要素、限定符号及常用的其它符号 (GB4728.2—84)		
1.1	符号要素		
1.1.1		<p>元件,装置,功能单元</p> <p>(注:填入或加上适当的符号或代号于轮廓符号内以表示元件、装置或功能。)</p>	=
1.1.2		<p>外壳(容器),管壳</p> <p>(注:①可使用其它形状的轮廓;②若外壳具有特殊的防护性能,可加注以引起注意;③使用外壳符号是非强制性的,如不致引起混乱,外壳符号可省略;但若外壳与其它物件有连接,则必须示出外壳符号,必要时,外壳可分开画出。)</p>	=

120
在 4 页 印刷日期











(续)

序号	图形符号	说明	IEC
1.1.3		边界线 (注: 用于表示在边界线内的元件、装置等是实际地、机械地或功能地相互联系在一起。)	=
1.1.4		屏蔽(护罩) (注: 屏蔽可画成任何方便的形状。)	=
1.2	限定符号·电流和电压的种类		
1.2.1		直流 (注: 电压可标注在符号右边, 系统类型可标注在左边。)	=
	例: 2M—220/110V	直流, 带中间线的三线制, 220V (两根导线与中间线之间为110V), 2M也可用2+M代替	
1.2.2		交流 (注: 频率或频率范围以及电压的数值应标注在符号的右边, 系统类型应标注在符号的左边。)	=
	例: ~50Hz	交流, 50Hz	
	例: 3N~50Hz/TN-S	交流, 三相, 50Hz, 具有一个直接接地点且中性线与保护导线全部分开的系统	
1.2.3		交直流	
1.2.4	N	中性(中性线)	=
1.2.5	M	中间线	=
1.2.6	+	正极	=
1.2.7	-	负极	=
1.3	限定符号·可变性 (可变性符号应横跨主体符号, 并与其中心线约成45°角)		
1.3.1		非内在的可变性	=
1.3.2		非内在非线性的可变性	=
1.3.3		内在的可变性 (注: 有关控制量如电压或温度可示于符号附近。)	=














(续)

序号	图形符号	说明	IEC
1.3.4		内在非线性的可变性	=
1.3.5		预调, 微调 (注: 有关允许的调整条件, 应标注于符号附近。)	=
	例: 	仅在电流等于零时允许预调	
1.3.6		阶跃式 (分档式) 的可变量, 步进动作 (注: 可加注阶跃数。)	=
	例: 	表示 5 个阶跃的非内在的可变性	
1.3.7		连续的可变性	=
	例: 	连续可变的预调	
1.4	限定符号·力或运动的方向		
1.4.1		按箭头方向的直线运动或力	=
1.4.2		双向直线的运动或力	=
	例: 	当 3 从 1 向 2 移动时, 频率增加	
1.4.3		按箭头的方向单向旋转 (示出顺时针方向)	=
1.4.4		双向旋转	=
1.4.5		两个方向均有限制的双向旋转	=

(续)

序号	图形符号	说明	IEC
1.4.6		往复运动	=
1.5	限定符号·流动方向		
1.5.1		能量、信号的单向传播 (单向传输)	=
1.5.2		同时双向传播 (同时双向传输), 同时发送和接收	=
1.5.3		不同时双向传播, 交替的发送和接收	=
1.5.4	 (或 )	发送 (注: 如箭头和符号组合在一起所表达的意思是明确的, 则小圆黑点可以省略。)	=
1.5.5	 (或 )	接收 (注: 如箭头和符号组合在一起所表达的意思是明确的, 则小圆黑点可以省略。)	=
1.5.6		能量从母线 (汇流排) 输出	=
1.5.7		能量从母线 (汇流排) 输入	=
1.5.8		双向能量流动 (双向能量传输)	=
1.6	限定符号·特性量的动作相关性		
1.6.1	>	特性量大于整定值时动作	=
1.6.2	<	特性量小于整定值时动作	=
1.6.3	=0	特性量为零时动作	=
1.6.4	=	特性量等于整定值时动作	=
1.7	限定符号·材料的类型 (可用化学符号或下面给出的限定符号表示, 这些符号应画在矩形内, 但是当这些符号与其它符号组合时, 矩形可省略。)		
1.7.1		未规定类型的材料	=


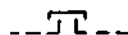


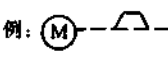
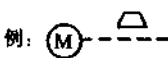
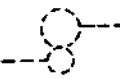
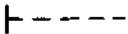
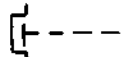
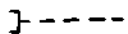


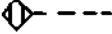
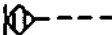

(续)

序号	图 形 符 号	说 明	IEC
1.7.2		固体材料	=
1.7.3		液体材料	=
1.7.4		气体材料	=
1.7.5		半导体材料	=
1.7.6		绝缘材料	=
1.8	限定符号·效应或相关性		
1.8.1		热效应	=
1.8.2		电磁效应	=
1.8.3		磁场效应或磁场相关性	=
1.8.4		延时, 延迟	=
1.9	限定符号·信号波形		
1.9.1		正脉冲	=
1.9.2		负脉冲	=
1.9.3		交流脉冲	=
1.9.4		正阶跃函数	=

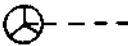
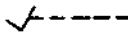
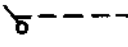
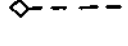
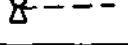


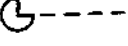

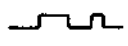
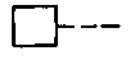
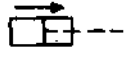
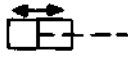
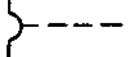
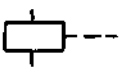
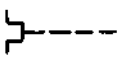
(续)

序号	图 形 符 号	说 明	IEC
1.9.5		负阶跃函数	=
1.9.6		锯齿波	=
1.10	常用的其它符号·机械控制		
1.10.1	形式 1 	机械的连接, 气动的连接, 液压的连接	=
	例:	具有力或运动指示方向的机械连接	
	例:	具有指示旋转方向的机械连接 (注: 箭头应视作从连接符号前面向里旋转。)	
1.10.2	形式 2 	同上, 在符号位置大受限制时使用	
1.10.3	形式 1 	延时动作 (注: 从圆弧向圆心方向移动时延时动作。)	=
	形式 2 		
1.10.4		自动复位 (注: 三角为指向返回方向。)	=
1.10.5		定位, 非自动复位, 维持给定位置的器件	=
1.10.6		脱离定位	=
1.10.7		进入定位	=
1.10.8		两器件间的机械联锁	=
1.10.9		脱扣的锁扣器件	=
1.10.10		扣住的锁扣器件	=

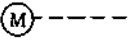
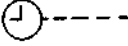
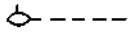
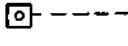
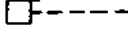
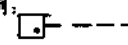
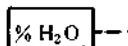
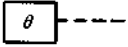
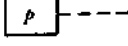
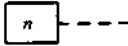
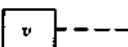


(续)

序号	图形符号	说明	IEC
1.10.11		机械联轴器, 离合器	=
1.10.12		脱开的机械联轴器	=
1.10.13		联接的机械联轴器	=
1.10.14		制动器	=
	例: 	带制动器并已制动的电动机	
	例: 	带制动器未制动的电动机	
1.10.15		齿轮啮合	=
1.11	常用的其它符号·操作件和操作方法		
1.11.1		一般情况下手动控制	=
1.11.2		受限制的手动控制	=
1.11.3		拉拔操作	=
1.11.4		旋转操作	=
1.11.5		推动操作	=
1.11.6		接近效应操作	=
1.11.7		接触效应操作	=
1.11.8		紧急开关 (蘑菇头安全按钮)	=







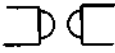





(续)

序号	图形符号	说明	IEC
1.11.9		手轮操作	=
1.11.10		脚踏操作	=
1.11.11		杠杆操作	=
1.11.12		可拆卸的手柄操作	=
1.11.13		钥匙操作	=
1.11.14		曲柄操作	=
1.11.15		滚轮(滚柱)操作	=
1.11.16		凸轮操作 (注:需要时,可示出详细凸轮图,对仿形样板也适用。)	=
	例: 	仿形凸轮	
	例: 	仿形样板, 仿形凸轮(展开图)	
1.11.17		贮存机械能操作 (注:贮存能的方式可填入方框符号内)	=
1.11.18		单向作用的气动或液压控制操作	=
1.11.19		双向作用的气动或液压控制操作	=
1.11.20		过电流保护的电磁操作	=
1.11.21		电磁执行器操作	=
1.11.22		热执行器操作(如热继电器、热过电流保护)	=




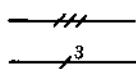
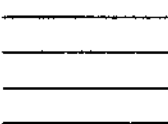


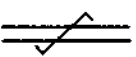

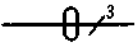
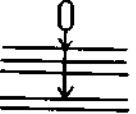
(续)

序号	图形符号	说明	IEC
1.11.23		电动机操作	=
1.11.24		电钟操作	=
1.12	常用的其它符号·非电量控制		
1.12.1		液位控制	=
1.12.2		计数控制	=
1.12.3		液体控制	=
	例: 	气流控制	
1.12.4		相对湿度控制	=
1.12.5		温度控制 (注: θ 可用 t° 代替。)	
1.12.6		压力控制	
1.12.7		转速控制	
1.12.8		线性速率或速度控制	
1.13	常用的其它符号·接地、接机壳和等电位		
1.13.1		接地的一般符号 (注: 如表示接地的状况或作用不够明显, 可补充说明。)	=
1.13.2		无噪声接地 (抗干扰接地)	=

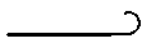
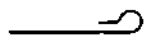


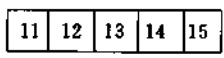





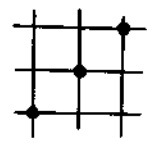

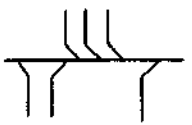
(续)

序号	图 形 符 号	说 明	IEC
1.13.3		保护接地 (注: 本符号可用于代替 1.13.1 所示符号, 以表示具有保护作用, 例如在故障情况下防止触电的接地。)	=
1.13.4	形式 1 	接机壳或接底板	=
	形式 2 		
1.13.5		等电位	=
1.14	常用的其它符号·理想电路元件		
1.14.1		理想电流源	=
1.14.2		理想电压源	=
1.14.3		理想回转器	=
1.15	常用的其它符号·其它		
1.15.1		故障 (用以表示假定故障位置)	=
1.15.2		闪络, 击穿	=
1.15.3		导线间绝缘击穿	
1.15.4		导线对地绝缘击穿	
1.15.5		永久磁铁	=

(续)

序号	图形符号	说明	IEC
1.15.6		动触点 (注: 如滑动触点)	=
1.15.7		变换器、转换器的一般符号 (注: 表示输入、输出和波形等的符号或代号, 可以写进一般符号的每半部分内, 以表示变换性质。)	=
2	导线和连接器件的图形符号 (GB4728.3-84)		
2.1	导线		
2.1.1		导线、电缆、电路、传输通路 (如微波技术)、母线的一般符号 (注: 当用单线表示一组导线时, 若需示出导线数可加小短斜线或画一条短斜线加数字表示。)	=
	例: 	三根导线	
	例: 3N~50Hz 380V  3×120+1×70	三相交流电路, 50Hz, 380V, 三根导线截面积均为120mm ² , 中性线截面积为70mm ²	
2.1.2		柔软导线	=
2.1.3		屏蔽导线 (注: 同 2.1.5 注)	=
2.1.4		绞合导线 (示出 2 股) (注: 同 2.1.5 注)	=
2.1.5	形式 1 	电缆中的导线 (示出 3 股) (注: 若几根导线组成一根电缆, 或绞合在一起, 或在一个屏蔽内, 但在图上代表它们的线条彼此又不接近, 可用下例的方法表示。)	=
	形式 2 		
	例: 	五根导线中箭头所指的两根导线在一根电缆中	=

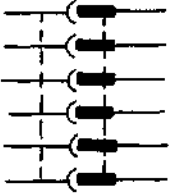




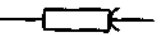


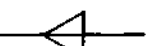

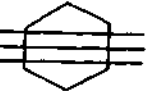
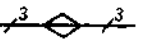
(续)

序号	图 形 符 号	说 明	IEC	
2.1.6		未连接的导线或电缆	=	
2.1.7		未连接的特殊绝缘的导线或电缆	=	
2.2	端子和导线的连接			
2.2.1		导线的连接	=	
2.2.2		端子 (注: 必要时圆圈可画成圆黑点。)	=	
2.2.3		端子板 (示出带线端标记的端子板)	=	
2.2.4	形式 1 	形式 2 	导线的连接	=
				
2.2.5	例: 	导线的交叉连接 (点) 单线表示法		
	例: 	导线的交叉连接 (点) 多线表示法		
2.2.6		可拆卸的端子		
2.2.7		导线或电缆的分支和合并		

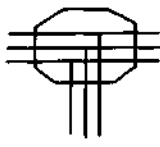
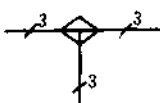


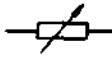
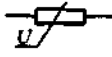
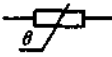



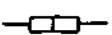


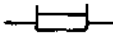
(续)

序号	图形符号		说明	IEC
2.2.8			导线的不连接 (跨越)	
	例:		单线表示法	
	例:		多线表示法	
2.2.9			导线直接连接, 导线接头	=
2.2.10			导线的交换 (换位), 相序的变更或极性的反向 (示出用单线表示 n 根导线)	=
	例:		示出相序的变更	
2.2.11			多相系统的中性点 (示出用单线表示)	=
	例:		每相两端引出, 示出外部中性点的三相同步发电机	
2.3	连接器件			
2.3.1	优选形	其它形	插座 (内孔的) 或插座的一个极	=
2.3.2			插头 (凸头的) 或插头的一个极	=
2.3.3			插头和插座 (凸头和内孔的)	=

(续)

序号	图形符号	说明	IEC
2.3.4		多极插头插座 (示出带六个极) 多线表示形式	=
		单线表示形式	
2.3.5	形式1 	接通的连接片	=
	形式2 		
2.3.6		断开的连接片	=
2.3.7		滑动 (滚动) 连接器	
2.4	电缆附件		
2.4.1		电缆密封终端头 (示出带一根三芯电缆) 多线表示	=
		单线表示	
2.4.2		不需要示出电缆芯数的电缆终端头	
2.4.3		电缆密封终端头 (示出带三根单芯电缆)	=
2.4.4		电缆直通接线盒 (示出带三根导线) 多线表示	=
		单线表示	

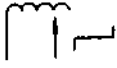
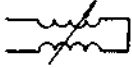
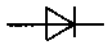
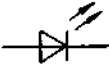

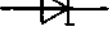





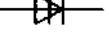
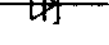

(续)

序号	图形符号	说明	IEC
2.4.5		电缆连接盒, 电缆分线盒 (示出带三根导线 T 形连接) 多线表示	=
		单线表示	
3	无源元件的图形符号 (GB4728.4—85)		
3.1	电阻器		
3.1.1	优选形	其它形	电阻器的一般符号
			
3.1.2		可变电阻器, 可调电阻器	=
3.1.3		压敏电阻器, 变阻器 (注: U 可以用 V 代替)	=
3.1.4		热敏电阻器 (注: θ 可以用 t 代替)	
3.1.5		0.125W 电阻器	
3.1.6		0.25W 电阻器	
3.1.7		0.5W 电阻器	
3.1.8		1W 电阻器 (注: 大于 1W 电阻器都用阿拉伯数字表示)	
3.1.9		滑线式变阻器	=
3.1.10		两个固定抽头的电阻器 (注: 可增加或减少抽头数目)	=
3.1.11		分路器, 带分流和分压接线头的电阻器	=

(续)

序号	图形符号		说明	IEC
3.1.12			加热元件	=
3.1.13			滑动触点电位器	=
3.1.14			预调电位器	=
3.2	电容器			
3.2.1	优选形	其它形	电容器的一般符号 (注: 如果必须分辨同一电容器的电极时, 弧形的极板表示: ①在固定的纸介质和陶瓷介质电容器中表示外电极; ②在可调和可变的电容器中表示动片电极; ③在穿心电容器中表示低电位电极。)	=
3.2.2			穿心电容器	=
3.2.3			极性电容器	=
3.2.4			可变电容器, 可调电容器	=
3.2.5			微调电容器	=
3.3	电感器			
3.3.1			电感器, 线圈, 绕组, 扼流圈 (注: ①如果要表示带磁芯的电感器, 可以在该符号上加一条线; ②符号中半圆数目不作规定, 但不得少于三个)	=
	例:		例: 带磁芯的电感器	
3.3.2			带磁芯连续可调的电感器	=
3.3.3			有两个抽头的电感器 (注: ①可增加或减少抽头数目; ②抽头可在外侧两半圆交点处引出。)	=

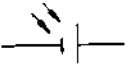

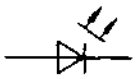

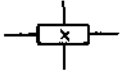
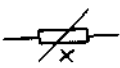


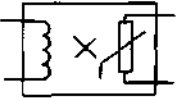
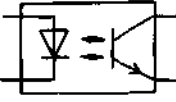

(续)

序号	图形符号	说明	IEC
3.3.4		步进移动触点的可变电感器	=
3.3.5		可变电感器	=
4	半导体管和电子管的图形符号 (GB4728.5—85)		
4.1	半导体管示例		
4.1.1		半导体二极管的一般符号	=
4.1.2		发光二极管的一般符号	=
4.1.3		隧道二极管	=
4.1.4		反向二极管 (单隧道二极管)	=
4.1.5		双向二极管, 交流开关二极管	=
4.1.6		PNP 型半导体管	=
4.1.7		NPN 型半导体管 (集电极接管壳)	=
4.1.8		具有 P 型基极单结型半导体管	=
4.1.9		具有 N 型基极单结型半导体管	=
4.1.10		反向阻断二极管晶体整流管	=
4.1.11		反向导通二极管晶体整流管	=
4.1.12		双向二极管晶体整流管	=

(续)

序号	图形符号	说明	IEC
4.1.13		三极晶闸管 (注:当没有必要规定控制极的类型时,本符号用于表示反向阻断三极晶闸管。)	=
4.1.14		反向阻断三极晶闸管, N型控制极(阳极侧受控)	=
4.1.15		反向阻断三极晶闸管, P型控制极(阴极侧受控)	=
4.1.16		可关断三极晶闸管, 未规定控制极	=
4.1.17		可关断三极晶闸管, N型控制极(阳极侧受控)	=
4.1.18		可关断三极晶闸管, P型控制极(阴极侧受控)	=
4.1.19		反向阻断四极晶闸管	=
4.1.20		双向三极晶闸管, 三端双向晶闸管	=
4.1.21		反向导通三极晶闸管, 未规定控制极	=
4.1.22		反向导通三极晶闸管, N型控制极(阳极侧受控)	=
4.1.23		反向导通三极晶闸管, P型控制极(阴极侧受控)	=
4.1.24		光控晶闸管	
4.1.25		光敏电阻, 具有对称导电性的光电器件	=
4.1.26		光电二极管, 具有非对称导电性的光电器件	=

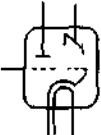
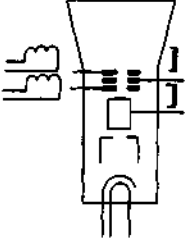
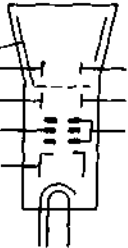
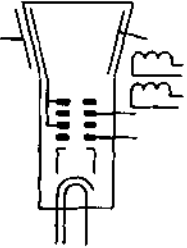
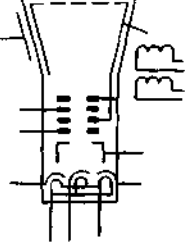

(续)

序号	图形符号	说明	IEC
4.1.27		光电池	=
4.1.28		光电半导体管 (示出 PNP 型)	=
4.1.29		半导体激光器	
4.1.30		发光数码管	
4.1.31		有四个欧姆接触的霍尔发生器	=
4.1.32		磁敏电阻器 (示出线性型)	=
4.1.33		磁敏二极管	
4.1.34		NPN 型磁敏半导体管	
4.1.35		磁耦合器, 磁隔离器	=
4.1.36		光耦合器, 光隔离器 (示出发光二极管和光电半导体管)	=
4.2	电子管示例		
4.2.1		直热式阴极二极管	









(续)

序号	图形符号	说明	IEC
4.2.2		间热式阴极二极管	
4.2.3		间热式阴极双二极管	
4.2.4		直热式阴极三极管	=
4.2.5		直热式阴极四极管	
4.2.6		束射四极管	
4.2.7		直热式阴极五极管	
4.2.8		间热式阴极五极管 (抑制栅与阴极管内连接)	=















(续)

序号	图形符号	说明	IEC
4.2.9		间热式阴极调谐指示管 (电眼管)	=
4.2.10		电子束管 —— 间热式阴极 —— 调制极 —— 电磁偏转 —— 永磁聚焦	
4.2.11		示波管	
4.2.12		显像管	
4.2.13		单枪三束彩色显像管	
4.2.14		光电管	=

(续)

序号	图形符号	说明	IEC
4.2.15		充气光电管	
4.2.16		充气二极管	
4.2.17		整流管, 间接式阴极充气三极管	=
4.2.18		冷阴极充气二极管, 充气稳压管	=
4.2.19		引燃管	=
4.2.20		电离室	=
4.2.21		[电离辐射] 半导体探测器件	=
5	电能发生和转换的图形符号 (GB4728.6-84)		
5.1	电机的类型示例		
5.1.1		电机的一般符号 (注: 符号内的星号必须用下列字母代替, C—同步变流机, G—发电机, GS—同步发电机, M—电动机, MG—能作为发电机或电动机使用的电机, MS—同步电动机, SM—伺服电机, TG—测速发电机, TM—力矩电动机, IS—感应同步器。)	=

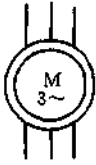
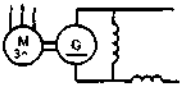
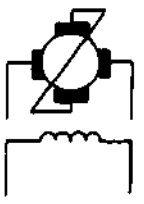



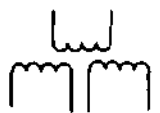




(续)

序号	图形符号	说明	IEC
5.1.2		直流发电机	=
5.1.3		直流电动机	=
5.1.4		交流发电机	=
5.1.5		交流电动机	=
5.1.6		交直流变流机	=
5.1.7		交流伺服电动机	=
5.1.8		直流伺服电动机	=
5.1.9		交流测速发电机	=
5.1.10		直流测速发电机	=
5.1.11		交流力矩电动机	=
5.1.12		直流力矩电动机	=
5.1.13		直流电动机的一般符号	=
5.1.14		步进电动机的一般符号	=
5.1.15		手摇发电机	=




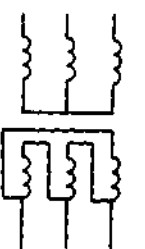

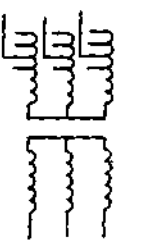

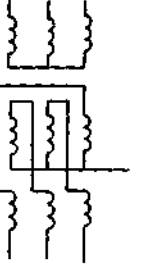

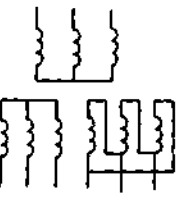
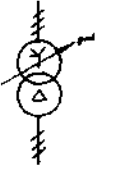
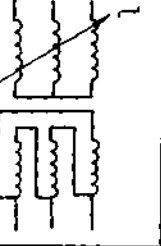
(续)

序号	图形符号	说明	IEC
5.1.16		串励直流电动机	=
5.1.17		并励直流电动机	=
5.1.18		他励直流电动机	
5.1.19		永磁直流电动机	
5.1.20		三相永磁同步发电机	=
5.1.21		中性点引出的星形连接的三相同步发电机	=
5.1.22		三相笼型异步电动机	=
5.1.23		单相笼型有分相端子的异步电动机	=

(续)

序号	图形符号		说明	IEC
5.1.24			三相绕线转子异步电动机	=
5.1.25			变流机组	
5.1.26			电机扩大机	
5.2	变压器、互感器和电抗器示例			
5.2.1	形式1	形式2	双绕组变压器 注：①“形式2”中的下图示出瞬时电压极性标记。②普通变压器的符号也适用于电压互感器	=
				
5.2.2			三绕组变压器	=
5.2.3	形式1	形式2	自耦变压器	=
				
5.2.4			电抗器, 扼流圈	=

(续)

序号	图形符号		说明	IEC
	形式 1	形式 2		
5.2.5			电流互感器, 脉冲变压器	=
5.2.6			三相变压器 (星形-三角形联结)	=
5.2.7			具有四个抽头 (不包括主抽头) 的三相变压器 (星形-星形联结)	=
5.2.8			三相变压器 (星形-曲折形联结)	=
5.2.9			三相变压器 (星形-星形-三角形联结)	=
5.2.10			具有有载分接开关的三相变压器 (星形-三角形联结)	

(续)

序号	图 形 符 号		说 明	IEC
	形式 1	形式 2		
5.2.11			单相变压器组成的三相变压器 (星形-三角形联结)	=
5.2.12			单相自耦变压器	=
5.2.13			三相自耦变压器 (星形联结)	=
5.2.14			可调压的单相自耦变压器	=
5.2.15			单相感应调压器	=
5.2.16			三相移相器	=
5.2.17			具有两个铁心和两个次级绕组的电流互感器 (注: ①“形式 2”中的铁心符号可以略去; ②在初级电路每端示出的接线端子符号表示只画出一个器件。)	=

(续)

序号	图 形 符 号		说 明	IEC
	形式 1	形式 2		
5.2.18			在一次铁心上具有两个次级绕组的电流互感器 (注:“形式 2”中的铁心符号必须示出。)	=
5.2.19			频敏变阻器	
5.2.20			分裂电抗器	
5.3	变流器示例			
5.3.1			整流器	=
5.3.2			桥式全波整流器	=
5.3.3			逆变器	=
5.3.4			整流器/逆变器	=
5.4	原电池或蓄电池			
5.4.1			原电池或蓄电池 (注:长线代表阳极,短线代表阴极。为了强调,短线可画粗些。)	=
5.4.2	形式 1	形式 2	蓄电池组或原电池组 (注:如不会引起混乱,本表 5.4.1 也可以用来表示电池组,但其电压或电池的类型和数量应标明。)	=
5.4.3			带抽头的原电池或蓄电池组	
5.5	电能发生器及热源			
5.5.1			电源发生器的一般符号 (注:旋转发电机用本表符号 5.1.1)	=

(续)

序号	图 形 符 号		说 明	IEC	
5.5.2			热源的一般符号	=	
5.5.3			燃烧热源	=	
5.5.4			光电发生器	=	
6	开关、控制和保护装置的图形符号 (GB4728.7—84)				
6.1	触点 (触头)				
6.1.1			触点的 限定 符号	接触器功能	=
6.1.2				断路器功能	=
6.1.3				隔离开关功能	=
6.1.4				负荷开关功能	=
6.1.5				自动释放功能	=
6.1.6				限制开关功能, 位置开关功能	=
6.1.7				弹性返回功能, 自动复位功能	=
6.1.8				无弹性返回功能	=
6.1.9	形式 1	形式 2	动合 (常开) 触点 (注: 本符号也可用作开关的一般符号。)	=	
6.1.10			动断 (常闭) 触点	=	
6.1.11			先断后合的转换触点	=	
6.1.12			中间断开的双向触点	=	

(续)

序号	图 形 符 号		说 明	IEC
	形式 1	形式 2		
6.1.13			先合后断的转换触点 (桥接)	=
6.1.14			当操作器件被吸合时, 暂时闭合的过渡动合触点	=
6.1.15			当操作器件被释放时, 暂时闭合的过渡动合触点	=
6.1.16			当操作器件被吸合或释放时, 暂时闭合的过渡动合触点	=
6.1.17			多触点组中比其它触点提前吸合的动合触点	=
6.1.18			多触点组中比其它触点滞后吸合的动合触点	=
6.1.19			多触点组中比其它触点滞后释放的动断触点	=
6.1.20			多触点组中比其它触点提前释放的动断触点	=
6.1.21	形式 1	形式 2	当操作器件被吸合时延时闭合的动合触点	=
6.1.22	形式 1	形式 2	当操作器件被释放时延时断开的动合触点	
6.1.23	形式 1	形式 2	当操作器件被释放时延时闭合的动断触点	=

(续)

序号	图 形 符 号	说 明	IEC	
6.1.24		当操作器件被吸合时延时断开的动断触点		
6.1.25		吸合时延时闭合和释放时延时断开的动合触点	=	
6.1.26		有弹性返回的动合触点	=	
6.1.27		无弹性返回的动合触点	=	
6.1.28		有弹性返回的动断触点	=	
6.1.29		左边弹性返回、右边无弹性返回的中间断开的双向触点	=	
6.2	开关、开关装置和起动器			
6.2.1		单极开关	手动开关的一般符号	=
6.2.2			按钮开关 (不闭锁)	=
6.2.3			拉拔开关 (不闭锁)	=
6.2.4			旋钮开关, 旋钮开关 (闭锁)	=
6.2.5		位置和限制开关	位置开关 限制开关 (动合触点)	=
6.2.6			位置开关 限制开关 (动断触点)	=

(续)

序号	图 形 符 号		说 明	IEC
	形式 1	形式 2		
6.2.7			开关 (机械式)	=
6.2.8	单线图	多线图	多极开关的一般符号	
6.2.9			接触器 (在非动作位置触点断开)	=
6.2.10			具有自动释放的接触器	=
6.2.11			接触器 (在非动作位置触点闭合)	=
6.2.12			断路器	=
6.2.13			隔离开关	=
6.2.14			负荷开关 (负荷隔离开关)	=
6.2.15			具有自动释放的负荷开关	=
6.2.16			手工操作带有阻塞器件的隔离开关	=

开
关
装
置
和
控
制
装
置








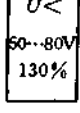


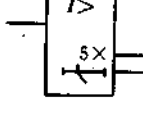
(续)

序号	图形符号		说明	IEC
6.2.17			电动机起动器的一般符号 (注: 符号内可另加限定符号。)	=
6.2.18			调节-起动器	=
6.2.19			星-三角起动器	=
6.3	机电式有或无继电器			
	形式1	形式2		
6.3.1			操作器件的一般符号 (注: 具有几个绕组的操作器件, 可以由适当数值的斜线或重复本符号来表示。)	=
6.3.2			具有两个绕组的操作器件 (组合表示法)	=
6.3.3			具有两个绕组的操作器件 (分离表示法)	=
6.3.4			操作器件 缓慢释放 (缓放) 继电器的线圈	=
6.3.5			缓慢吸合 (缓吸) 继电器的线圈	=
6.3.6			缓吸和缓放继电器的线圈	=
6.3.7			快速继电器 (快吸和快放) 的线圈	=
6.3.8			交流继电器的线圈	=
6.3.9			机械保持继电器的线圈	=

(续)

序号	图形符号	说明	IEC
6.3.10		极化继电器的线圈 (注: 圆点用以表示通过极化继电器绕组的电流方向和动触点的运动之间的关系。当标有极点的绕组端子相对于另一绕组是正极时, 动触点朝着标有圆点的位置运动。)	=
	例:	在绕组中只有一个方向的电流起作用, 并能自复的极化继电器	
	例:	在绕组中任一方向的电流均可起作用的具有中间位置并能自复的极化继电器	
	例:	具有两个稳定位置的极化继电器	
6.3.11	形式 1	剩磁继电器的线圈	=
	形式 2		
6.3.12		热继电器的驱动器件	=
6.4	测量继电器和有关器件		
6.4.1		测量继电器或有关器件(星号*必须由表示这个器件参数的一个或多个字母或限定符号按下述顺序代替: 特性量及其变化方式、能量流动方式、整定范围、重整定比或复位比、延时作用、延时值) (注: ①特性量的文字符号应该与已有标准相一致。②测量元件数量的数字可包括在此符号内。③此符号可作为整个器件的功能符号或仅表示器件的驱动元件。)	=
6.4.2	U_{res}	剩余电压(注: U 可用 V 代替。)	=
6.4.3	I_{\leftarrow}	反向电流	=
6.4.4	I_{Δ}	差动电流	=
6.4.5	I_{\downarrow}	对地故障电流	=
6.4.6	I_N	中性线电流	=
6.4.7	I_{N-n}	两个多相系统中性线之间的电流	=

(续)

序号	图形符号	说明		IEC
6.4.8	P_{α}	方框符号和限定符号	相角为 α 时的功率	=
6.4.9			可调延时特性	
6.4.10			反延时特性	=
6.4.11		测量继电器示例	零电压继电器	=
6.4.12			逆流继电器	=
6.4.13			欠功率继电器	=
6.4.14			延时过流继电器	=
6.4.15			具有两个电流元件和整定范围从 5A 到 10A 的过流继电器	=
6.4.16			欠压继电器 (整定范围从 50V 到 80V、重整定比 130%)	=
6.4.17			大于 5A 小于 3A 动作的电流继电器	=
6.4.18			欠阻抗继电器	=
6.4.19			具有一路在电流大于 5 倍整定值动作、另一路为反延时特性的两路输出的过流继电器	=













(续)

序号	图形符号	说明		IEC
6.4.20		其它器件	气体继电器 (瓦斯继电器)	=
6.4.21			自动重合合器件	=
6.5	保护器件			
6.5.1		熔断器和熔断器式开关	熔断器的一般符号	=
6.5.2			供电端由粗线表示的熔断器	
6.5.3			带机械连杆的熔断器 (撞击器式熔断器)	=
6.5.4			具有报警触点的三端熔断器	=
6.5.5			具有独立报警电路的熔断器	-
6.5.6			跌落式熔断器	
6.5.7			熔断器式开关	=
6.5.8			熔断器式隔离开关	-
6.5.9			熔断器式负荷开关	=















(续)

序号	图形符号	说明		IEC
6.5.10		火花间隙和避雷器	火花间隙	=
6.5.11			双火花间隙	=
6.5.12			避雷器	=
6.5.13			保护用充气放电管	=
6.5.14		灭火器	具有连接器的单头灭火器	=
6.5.15		其它	线圈操作的标志指示器	=
6.6	动力控制器或操作开关 (GB472.7-84 附录)			
6.6.1		动力控制器 (示出有两个无灭弧装置的动断触点, 四个有灭弧装置的动合触点和一个有灭弧装置的动断触点, 共七段电路。)		
6.6.2		自动复归的控制器或操作开关 (示出两侧自动复位到中央两个位置。黑箭头表示自动复归的符号。)		
7	测量仪表、灯和信号器件的图形符号 (GB4728.8-84)			













(续)

序号	图形符号	说明	IEC
7.1	指示、记录和积算仪表的一般符号		
7.1.1		指示仪表 (星号可代以被测量单位的文字符号或其倍数、约数, 或代以被测量的文字符号, 或代以化学分子式或其它图形符号。)	=
7.1.2		记录仪表 (星号可代的符号同本表序号 7.1.1)	=
7.1.3		积算仪表, 电能表 (星号可代的符号同本表序号 7.1.1)	=
7.2	指示仪表示例		
7.2.1		电压表	=
7.2.2		无功电流表	=
7.2.3		最大需量指示器 (由一台积算仪表操纵的)	=
7.2.4		无功功率表	=
7.2.5		功率因数表	=
7.2.6		相位表	=
7.2.7		频率表	=
7.2.8		同步表 (同步指示器)	=
7.2.9		示波器	=













(续)

序号	图形符号	说明	IEC
7.2.10		检流计	=
7.2.11		盐度计	=
7.2.12		温度计、高温计 (注: θ 可以 t 代替)	=
7.2.13		转速表	=
7.2.14		和量仪表 (示出电流和量)	
7.2.15		极性表	
7.2.16		静电计	
7.3	积算仪表示例		
7.3.1		电度表 (瓦特小时计)	=
7.3.2		电度表 (仅测量单向传输能量)	=
7.3.3		电度表 (测量从母线流出的能量)	=
7.3.4		电度表 (测量流向母线的能量)	=
7.3.5		多费率电度表 (示出二费率)	=
7.3.6		带最大需量指示器的电度表	=
7.3.7		无功电度表	=

(续)

序号	图 形 符 号		说 明	IEC
7.4	热 电 偶			
	形式 1	形式 2	热 电 偶 (示 出 极 性 符 号, “形 式 2” 中 粗 线 表 示 负 极 性。)	=
7.4.1				
		简 化 形	带 有 非 隔 离 加 热 元 件 的 热 电 偶	=
7.4.2				
		简 化 形	带 有 隔 离 加 热 元 件 的 热 电 偶	=
7.4.3				
7.5	遥 测 器 件			
7.5.1			信 号 变 换 器 的 一 般 符 号	=
7.5.2			遥 测 发 送 器	=
7.5.3			遥 测 接 收 器	=
7.6	电 钟			
7.6.1			钟 (二 次 钟、副 钟) 的 一 般 符 号	=
7.6.2			母 钟	=
7.6.3			带 有 开 关 的 钟	=
7.7	灯 和 信 号 器 件			










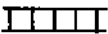






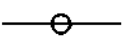
(续)

序号	图形符号		说明	IEC
7.7.1			灯的一般符号 信号灯的一般符号 (注: ①如果要求指示颜色, 则在靠近符号处标出下列字母: RD—红, YE—黄, GN—绿, BU—蓝, 白—WH。②如要指出灯的类型, 则在靠近符号处标出下列字母: Ne—氖, Xe—氙, Na—钠, Hg—汞, I—碘, IN—白炽, EL—电发光, ARC—弧光, FL—荧光, IR—红外线, UV—紫外线, LED—发光二极管。)	=
7.7.2			闪光型信号灯	=
7.7.3			机电型指示器, 信号元件	=
7.7.4			带有一个去激(励)位置(示出)和两个工作位置的机电型位置指示器	=
7.7.5			电喇叭	=
7.7.6	优选形	其它形	电铃	=
				
7.7.7			单打电铃	=
7.7.8			电警笛, 报警器	=
7.7.9	优选形	其它形	蜂鸣器	=
				
7.7.10			电动气笛	=
8	电力、照明和电信布置的图形符号 (GB4728.11—85)			
8.1	发电站和变电所			

(续)

序号	图 形 符 号			说 明	IEC
	规划设计的	运行的			
8.1.1			一 般 符 号	发电站 (厂)	=
8.1.2				热电站 (厂)	=
8.1.3				变电所、配电所	=
8.1.4			各 种 发 电 站 和 变 电 所 、 变 流 所	水力发电站 (厂)	=
8.1.5				火力发电站 (厂)	=
8.1.6				核能发电站	=
8.1.7				地热发电站	=
8.1.8				太阳能发电站	=
8.1.9				风力发电站	=
8.1.10				移动发电站	
8.1.11				变电所 (示出改变电压)	
8.1.12				变流所 (示出直流变交流)	=
8.1.13				杆上变电站	
8.1.14			移动变电所		
8.1.15			防爆式移动变电所		
8.1.16			地下变电所		

(续)

序号	图 形 符 号		说 明	IEC	
8.2	电信局(站)和机房设施				
8.2.1	形式 1		电信局、所、台、站的一般符号 (注: ①必要时可依据建筑物形状绘制; ②可加注文字符号表示不同的用途、规模、形式等特征; ③图形符号一般用来表示小型从属站, 例如无人维护增音站、中继站。)		
	形式 2				
	形式 3				
8.2.2			机房中屏、盘、架的一般符号 (注: 可用文字符号或型号表示设备名称。)		
8.2.3	形式 1		机房中列架的一般符号 (注: 当同时存在单、双列架时, 用它表示单面列架。)		
	形式 2				
8.2.4			人工交换台、班长台、中继台、测量台、业务台等的一般符号		
8.2.5			总配线架		
8.2.6			中间配线架		
8.2.7			走线架, 电缆走道		
8.2.8			电缆槽道(架顶)		
8.2.9	明槽		走线槽(地面)		
8.2.10	暗槽				
8.3	网络				
8.3.1			线 路	导线、电缆、线路、传输通道的一般符号	=
8.3.2				地下线路	-
8.3.3				水下(海底)线路	-
8.3.4				架空线路	=

(续)

序号	图形符号	说明		IEC	
8.3.5		线 路	管道线路 (注:管孔数量、截面尺寸或其它特性如管道的排列形式,可标注在管道线路的上方.) 例:6孔管道的线路	=	
	例: 				
8.3.6			具有埋入地下连接点的线路	=	
8.3.7			电信线路上交流供电	=	
8.3.8			电信线路上直流供电	=	
8.3.9			沿建筑物明敷的通信线路		
8.3.10			沿建筑物暗敷的通信线路		
8.3.11			挂在钢索上的线路		
8.3.12			事故照明线		
8.3.13			50V 及其以下的电力和照明线路		
8.3.14			控制及信号线路 (电力及照明用)		
8.3.15			用单线表示的多种线路		
8.3.16			用单线表示的多回路线路 (或电缆管束)		
8.3.17			母线的一般符号		
			当需要区别交直流时	交流母线	
				直流母线	
8.3.18			装在支柱上的封闭式母线		

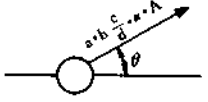
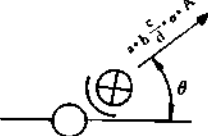





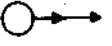
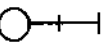

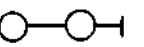




(续)

序号	图形符号	说明		IEC
8.3.19		线 路	装在吊钩上的封闭式母线	
8.3.20			滑触线	
8.3.21			中性线	=
8.3.22			保护线	=
8.3.23			保护和中性共用线	=
8.3.24			具有保护线和中性线的三相配线	=
8.3.25		电 杆 及 附 属 设 备	向上配线	=
8.3.26			向下配线	=
8.3.27			垂直通过配线	=
8.3.28			盒(箱)一般符号	=
8.3.29			带配线的用户端	=
8.3.30			配电中心(示出五根导线管)	=
8.3.31			连接盒或接线盒	=
8.3.32		电杆的一般符号(单杆、中间杆) (注: A—杆材或所属部门, B—杆长, C—杆号。)		
8.3.33		单接腿杆(单接杆)		
8.3.34		双接腿杆(品接杆)		

(续)

序号	图形符号	说明		IEC	
8.3.35		电 杆 及 附 属 设 备	H形杆		
8.3.36			L形杆		
8.3.37			A形杆		
8.3.38			三角杆		
8.3.39			四角杆 (井形杆)		
8.3.40			试线杆		
8.3.41			分区杆 (S杆)		
8.3.42			带撑杆的电杆		
8.3.43			带撑拉杆的电杆		
8.3.44			引上杆 (小黑点表示电缆)		
8.3.45			带 照 明 灯 的 电 杆	一般画法 (a—编号, b—杆型, c—杆高, d—容量, A—连接相序)	
				需要示出灯具的投照方向时	
				需要时允许加画灯具本身图形	
8.3.46			活动电杆		
8.3.47		投光灯塔架 (T—投光灯塔, C—装在建筑物顶上的投光灯架, a—编号, b—投光灯型号, c—容量, d—投光灯安装高度, e—塔架高度, A—连接相序, θ —偏角, α —俯角。注: 投照方向偏角的基准线可以是坐标轴线或其它基准线。)			

(续)

序号	图形符号		说明	IEC
8.3.48	一般画法		<p>装有投光灯的架空线电杆</p> <p>(a—编号, b—投光灯型号, c—容量, d—投光灯安装高度, A—连接相序, θ—偏角, α—俯角。</p> <p>注: 投照方向偏角的基准线可以是坐标轴线或其它基准线。)</p>	
	加画投光灯			
8.3.49			电信电杆上装设避雷线	
8.3.50			电杆上装设带有火花间隙的避雷线	
8.3.51			电杆上装设放电器 (注: 可在 A 处标注放电器型号。)	
8.3.52	形式 1		拉线的一般符号 (示出单方拉线)	
	形式 2			
8.3.53	形式 1		有 V 形拉线的电杆	
	形式 2			
8.3.54	形式 1		有高桩拉线的电杆	
	形式 2			
8.3.55			装设单担的电杆	
8.3.56			装设双担的电杆	
8.3.57			装设双十字担的电杆	
8.3.58			装设单十字担的电杆	

(续)

序号	图形符号	说明		IEC	
8.3.59		其 它	电缆铺砖保护		
8.3.60			电缆穿管保护 (注: 可加注规格数量。)		
8.3.61			电缆上方敷设防雷排流线		
8.3.62			电缆预留 母线伸缩接头		
8.3.63			电缆中间接线盒		
8.3.64			电缆分支接线盒		
8.3.65			接 地 装 置	有接地极	
8.3.66				无接地极	
8.3.67			人孔的一般符号 (注: 需要时可按实际形状绘制。)	=	
8.3.68			时钟	=	
8.3.69		电 缆 无 保 护	电力电缆与其它设施交叉点 (a—交叉点编号)		
8.3.70					电 缆 有 保 护
8.4	配电、控制和用电设备				
8.4.1		配 电 箱 (屏) 和 控 制 台	屏、台、箱、柜的一般符号		
8.4.2			动力或动力—照明配电箱 (注: 需要时符号内可标示电流种类符号。)		
8.4.3			信号板, 信号箱 (屏)		

(续)

序号	图形符号	说明		IEC
8.4.4		配电箱(屏)和控制台	照明配电箱(屏) (注:需要时允许涂红。)	
8.4.5			事故照明配电箱(屏)	
8.4.6			多种电源配电箱(屏)	
8.4.7			直流配电盘(屏) (注:若不混淆,直流符号可用“-”)	
8.4.8			交流配电盘(屏)	
8.4.9		控制盒	一般型或保护型 (左一个按钮,右两个按钮)	
			密闭型	
			防爆型	
8.4.10		设备	带指示灯的按钮	=
8.4.11			限制接近的按钮 (加有玻璃罩等)	=
8.4.12			电锁	=
8.4.13		用电设备	电阻加热装置	
8.4.14			电弧炉	
8.4.15			感应加热炉	
8.4.16			电解槽或电镀槽	
8.4.17			直流电焊机	
8.4.18			交流电焊机	

(续)

序号	图形符号	说明		IEC	
8.4.19		用电设备	探伤设备的一般符号 (注：“*”必须用不同的字母代替，以表示不同的设备：X-X射线探伤，Y-Y射线探伤，S—超声波探伤，M—磁力探伤。)		
8.4.20			热水器 (示出引线)	=	
8.4.21			风扇的一般符号 (示出引线) (注：若不引起混淆，可不画方框。)	=	
8.5	插座、开关和照明				
8.5.1		插座和开关	插座 (单相)	一般符号	=
				暗装	
				密闭 (防水)	
				防爆	
8.5.2			带保护接点的插座，带接地插孔的单相插座	一般符号	=
				暗装	
				密闭 (防水)	
				防爆	
8.5.3			带接地插孔的三相插座	一般符号	
				暗装	
				密闭 (防水)	
				防爆	
8.5.4		插座箱 (板)			










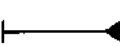






(续)

序号	图形符号		说明	IEC
	形式 1	形式 2		
8.5.5			多个插座 (示出三个)	=
8.5.6			具有护板的插座	=
8.5.7			具有单极开关的插座	=
8.5.8			具有联锁开关的插座	=
8.5.9			具有隔离变压器的插座 (如电动剃刀用的插座)	=
8.5.10			电信插座的一般符号 (注: 可用文字或符号加以区别, 如: TP—电话, —扬声器, TX—电传, M—传声器, TV—电视, FM—调频。)	=
8.5.11			带熔断器的插座	
8.5.12			开关的一般符号	=
8.5.13			一般开关	
			暗装	
			密闭 (防水)	
			防爆	
8.5.14			一般开关	=
			暗装	
			密闭 (防火)	
			防爆	















(续)

序号	图形符号	说明		IEC
8.5.15		三 极 开 关	一般开关	
			暗装	
			密闭 (防火)	
			防爆	
8.5.16		插 座 和 开 关	单极拉线开关	=
8.5.17			单极双控拉线开关	
8.5.18			单极限时开关	=
8.5.19			双控开关 (单极三线)	=
8.5.20			具有指示灯的开关	=
8.5.21			多拉开关 (如用于不同照度)	=
8.5.22			中间开关 等效电路图 	=
8.5.23			调光器	=
8.5.24			限时装置	=
8.5.25			定时开关	=
8.5.26		钥匙开关	=	

















(续)

序号	图形符号	说明		IEC	
8.5.27		照 明 灯 、 照 明 引 出 线 和 附 件	灯或信号灯的一般符号	=	
8.5.28			投光灯的一般符号	=	
8.5.29			聚光灯	=	
8.5.30			泛光灯	=	
8.5.31			示出配线的照明引出线位置	=	
8.5.32			在墙上的照明引出线 (示出配线向左边)	=	
8.5.33			荧 光 灯	一般符号	=
				三管	
				五管	
8.5.34			防爆荧光灯		
8.5.35			在专用电路上的事故照明灯	=	
8.5.36			自带电源的事故照明灯装置 (应急灯)	=	
8.5.37			气体放电灯的辅助设备 (注: 仅用于辅助设备与光源不在一起时。)	=	
8.6	报警器				
8.6.1		警卫信号探测器			
8.6.2		警卫信号区域报警器			
8.6.3		警卫信号总报警器			



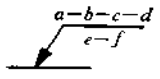
(续)

序号	图形符号	说明	IEC
8.7	电力和照明平面图图形符号补充 (GB4728.11—85 附录)		
8.7.1		电缆交接间	
8.7.2		架空交接箱	
8.7.3		落地交接箱	
8.7.4		壁盒交接线	
8.7.5		分线盒的一般符号 (注: 可加注 $\frac{A-B}{C}D$, 其中 A—编号, B—容量, C—线序, D—用户数。)	
8.7.6		室内分线盒 (注: 同本表序号 8.7.5 的注。)	
8.7.7		室外分线盒 (注: 同本表序号 8.7.5 的注。)	
8.7.8		分线箱 (注: 同本表序号 8.7.5 的注。)	
8.7.9		壁盒分线箱 (注: 同本表序号 8.7.5 的注。)	
8.7.10		避雷针	
8.7.11		电源自动切换箱 (屏)	
8.7.12		电阻箱	
8.7.13		矩形控制器	
8.7.14		自动开关箱	

(续)

序号	图 形 符 号	说 明	IEC
8.7.15		刀开关箱	
8.7.16		带熔断器的刀开关箱	
8.7.17		熔断器箱	
8.7.18		组合开关箱	
8.7.19		深照型灯	
8.7.20		广照型灯 (配照型灯)	
8.7.21		防水防尘灯	
8.7.22		球形灯	
8.7.23		局部照明灯	
8.7.24		矿山灯	
8.7.25		安全灯	
8.7.26		隔爆灯	
8.7.27		天棚灯	
8.7.28		花灯	
8.7.29		弯灯	
8.7.30		壁灯	
8.8	电力设备的标注方法 (GB4728.11—85 附录参考件)		

(续)

序号	标注方式	说明		IEC
8.8.1	$\frac{a}{b}$ 或 $\frac{a|c}{b|d}$	用电设备	a—设备编号 b—额定功率 (kW) c—线路首端熔断片或自动开关释放器的电流 (A) d—标高 (m)	
8.8.2	$a\frac{b}{c}$ 或 $a-b-c$	电力和照明设备	一般标注方法 a—设备编号 b—设备型号 c—设备功率 (kW) d—导线型号	
	$a\frac{b-c}{d(e \times f) - g}$		加注引入线的规格 e—导线根数 f—导线截面 (mm ²) g—导线敷设方式及部位	
8.8.3	$a\frac{b}{c/i}$ 或 $a-b-c/i$	开关及熔断器	一般标注方法 a—设备编号 b—设备型号 c—额定电流 (A) i—整定电流 (A)	
	$a\frac{b-c/i}{d(e \times f) - g}$		加注引入线的规格 d—导线型号 e—导线根数 f—导线截面 (mm ²) g—导线敷设方式	
8.8.4	$a/b-c$	照明变压器	a—一次电压 (V) b—二次电压 (V) c—额定容量 (V·A)	
8.8.5	$a-b\frac{c \times d \times L}{e}f$	照明灯具	一般标注方法 a—灯数 b—型号或编号 c—每盏灯具的灯泡数 d—灯泡容量 (W)	
	$a-b\frac{c \times d \times L}{e}$		灯具吸顶安装 e—灯泡安装高度 (m) f—安装方式 L—光源种类	
8.8.6	⑮	最低照度 (示出 15lx)		
8.8.7	 a	照明照度检查点	a: 水平照度 (lx)	
	 $\frac{a-b}{c}$		a-b: 双侧垂直照度 (lx) c: 水平照度 (lx)	
8.8.8		电缆与其它设施交叉点	a—保护管根数 b—保护管直径 (mm) c—管长 (m) d—地面标高 (m) e—保护管埋设深度 (m) f—交叉点坐标	

(续)

序号	标注方式	说明		IEC
8.8.9		安装或敷设标高 (m)	用于室内平面、剖面图上	
			用于总平面图上的室外地面	
8.8.10		导线根数	表示 3 根	
			表示 n 根	
8.8.11	$3 \times 16 \times 3 \times 10$	导线型号规格或敷设方式的改变	$3 \times 16\text{mm}^2$ 导线改为 $3 \times 10\text{mm}^2$	
	$\text{---} \times \frac{\phi 2 \frac{1}{2}}{2}$		无穿管敷设改为导线穿管 ($\phi 2 \frac{1}{2}$) 敷设	
8.8.12	V	电压损失%		
8.8.13	-220V	直流电压 220V		
8.8.14	$m \sim fV$	交流电	m —相数 f —频率 (Hz) V —电压 (V)	
	例: $3N \sim 50\text{Hz}, 380\text{V}$	三相交流, 带中性线, 50Hz, 380V		
8.8.15	L1 L2 L3	相序	交流系统电源第一相 交流系统电源第二相 交流系统电源第三相	
	U V W		交流系统设备端第一相 交流系统设备端第二相 交流系统设备端第三相	
8.8.16	N	中性线		=
8.8.17	PE	保护线		=
8.8.18	PEN	保护中性线		=

注: 1. GB4728—84、85 由 13 部分组成, 本表仅从其中 8 个部分中摘录了部分图形符号。

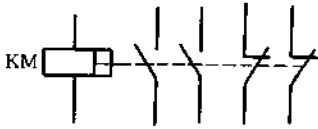
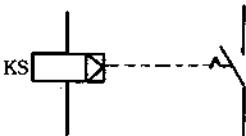
2. 电气图形符号的新旧国家标准的主要特点和绘制要求, 可参看刘介才主编《工厂供电简明设计手册》(机械工业出版社 1993 年第 1 版) 下篇表 ZL1-1。

3. 电气图形符号的新旧对照, 可参看刘介才主编《工厂供电简明设计手册》下篇表 ZL1-2 和表 ZL1-3。


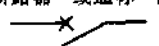
4. 关于三相系统的“相序”, 本手册仍统一采用通用代号“A、B、C”, 特此说明。

2. 电气图用图形符号的使用和派生 如表 JC4-21 所示。

表 JC4-21 电气图用图形符号的使用和派生

序号	项目	有关规定和要求
1	电气图图形符号的使用要求	
1.1	符号的状态	GB4728 规定：“本标准规定的图形符号，均按无电压、无外力作用的正常状态示出。”
1.2	符号的方位	GB4728 规定：“本标准示出的符号方位不是强制的。在不改变符号含义的前提下，符号可根据图面布置的需要旋转或成镜像放置，但文字和指示方向不得倒置。”
1.3	符号的大小	GB4728 规定：“为适应不同图样或用途的要求，可以改变彼此有关的符号的尺寸，如电力变压器和测量用互感器就经常采用不同大小的符号。本标准中的符号可根据需要缩小或放大。当一个符号用以限定另一个符号时，该符号常常缩小绘制。各符号缩小或放大时，各符号相互间及符号本身的比例应保持不变。”
1.4	图线的粗细	GB4728 规定：“导线符号可以用不同宽度的线条表示。”GB6988 规定：“为了突出或区分某些电路、功能等，导线符号、信号通路、连接线等可采用不同粗细的图线来表示。”
1.5	符号的选用	GB4728 规定：“本标准中有些符号具有几种图形形式，‘优选形’是供优先采用的。在同一张电气图样中只能选用一种图形形式，图形符号的大小和线条的粗细亦应基本一致。”
1.6	符号的派生	GB4728 规定：“本标准尽可能完整地给出符号要素、限定符号和一般符号，但只给出有限的组合符号的例子。如果某些特定装置或概念的符号在本标准中未作规定，允许通过已规定符号的适当组合进行派生。”
2	电气图用图形符号的派生法则及示例	
2.1	派生的法则	<ul style="list-style-type: none"> ①应以同类设备、装置的一般符号为基础 ②应体现特定设备、装置的结构特点和动作特性
2.2	示例之一 ——中间继电器的图形符号	<p>电磁式中间继电器（详见表 ZY7-5 序号 3）</p> <ul style="list-style-type: none"> ①结构特点：属机电式有或无继电器 ②动作特性：快吸、快放（例外情况见注） ③图形符号：采用表 JC4-20 中序号 6.3.7 所示“快速继电器”的线圈符号作中间继电器的线圈，加上继电器的触点符号，旁边加注中间继电器文字符号 KM，如下图所示  <p>〔注〕对于具有缓吸缓放性能的中继电器，如 DZS 型，其线圈符号可采用机电式有或无继电器线圈的一般符号或缓吸缓放线圈符号</p>
2.3	示例之二 ——信号继电器的图形符号	<p>电磁式信号继电器（详见表 ZY7-5 序号 4）</p> <ul style="list-style-type: none"> ①结构特点：属机电式有或无继电器，且具有机械保持结构 ②动作特性：继电器动作又失电后其触点不能自行复位 ③图形符号：采用表 JC4-20 中序号 6.3.9 所示“机械保持继电器”的线圈符号作信号继电器的线圈，而触点上边加注表 JC4-20 中序号 1.10.5 所示“非自动复位”的限定符号，旁边加注信号继电器文字符号 KS，如下图所示 

(续)

序号	项目	有关规定和要求
2.4	示例之三 ——自动开关的图形符号	<p>①从自动开关具有“自动释放功能”的特征来说,自动开关的图形符号可以在采用表 JC4-20 中序号 6.1.9 所示“开关的一般符号”基础上,加上表 JC4-20 中序号 6.1.5 所示“自动释放功能”的符号,即自动开关的图形符号表示为 , 相应的文字符号宜采用 QA</p> <p>②从自动开关又称“自动空气断路器”或通称“低压断路器”来说,自动开关可采用一般“断路器”的图形符号,表示为 , 相应的文字符号应采用 QF</p>

3. 电气技术中的项目代号 为了识别电气图样中各种图形符号表示的项目种类及其相互联系和层次关系的信息,我国参照国际标准 IEC 750 (1983) 制订了 GB5094—85《电气技术中的项目代号》,其摘要如表 JC4-22 所示。

表 JC4-22 电气技术中的项目代号 (据 GB5094—85)

序号	项目	说明
1	项目种类的字母代码	A 组件, 部件
		B 变换器 (从非电量到电量或相反)
		C 电容器
		D 二进制单元, 延迟器件, 存储器件
		E 杂项 (本表其它地方未提及的元器件)
		F 保护器件
		G 发电机, 电源
		H 信号器件
		K 继电器, 接触器
		L 电感器, 电抗器
		M 电动机
		N 模拟集成电路
		P 测量设备, 试验设备
		Q 电力电路的开关
		R 电阻器
		S 控制电路的开关, 选择器
		T 变压器
		U 调制器, 变换器 (含变流器、逆变器)
		V 电真空器件, 半导体器件
W 传输通道, 波导、天线		
X 端子, 插头, 插座		
Y 电气操作的机械装置		
Z 终端设备, 混合变压器, 滤波器、均衡器, 限幅器		
2	代号段的型式含义	第 1 段 高层代号 系统或设备中较高层次的项目代号
		第 2 段 位置代号 项目在组件、设备、系统中的实际位置代号
		第 3 段 种类代号 用以识别项目种类的代号
		第 4 段 端子代号 用以与外电路进行电气连接的电器导电件 (端子) 的代号

(续)

序号	项 目	说 明	
3	代号段的前缀符号	=	高层前缀 例=T2 (表示 2 号变压器)
		+	位置前缀 例+D6 (表示 6 室开关柜)
		-	种类前缀 例-K5 (表示 5 号继电器)
		:	端子前缀 例: 3 (表示 3 号端子)
4	代号段的组合示例	第 1 段与第 3 段组合 例 = T2-K5	
		第 2 段与第 3 段组合 例 +D6-K5	
		第 1 段与 3、4 段组合 例 = T2-K5: 3	
		1~4 段完整组合 例 = T2+D6-K5: 3	

4. 电气设备常用的基本文字符号 GB7159—87《电气技术中的文字符号制订通则》的规定, 如表 JC4-23 所示。表中“单字母符号”与表 JC4-22 中“项目种类的字母代码”相同。表中“IEC”栏中标“=”者表示该文字符号与国际标准 IEC 相一致。

表 JC4-23 电气设备常用的基本文字符号 (据 GB7159—87)

序号	设备、装置和元器件种类及示例		基本文字符号		IEC
	中文名称	英文名称	单字母	双字母	
1	组件、部件		A		=
1.1	分立元件放大器	Amplifier using discrete components			
1.2	激光器	Laser			
1.3	调节器	Regulator			
1.4	本表其它地方未提及的组件、部件				
1.5	电桥	Bridge			AB
1.6	晶体管放大器	Transistor amplifier			AD
1.7	集成电路放大器	Integrated circuit amplifier			AJ
1.8	磁放大器	Magnetic amplifier			AM
1.9	电子管放大器	Valve amplifier			AV
1.10	印制电路板	Printed circuit board			AP
1.11	抽屉柜	Drawer		A	AT
1.12	支架盘	Rack	AR		
2	非电量到电量变换器或电量到非电量变换器		B		=
2.1	热电传感器	Thermoelectric sensor			
2.2	热电池	Thermo-cell			
2.3	光电池	Photoelectric cell			
2.4	测功计	Dynamometer			
2.5	晶体换能器	Crystal transducer			
2.6	送话器	Microphone			
2.7	拾音器	Pick up			
2.8	扬声器	Loudspeaker			

(续)

序号	设备、装置和元器件种类及示例		基本文字符号		IEC		
	中文名称	英文名称	单字母	双字母			
2.9	耳机	Earphone	B		=		
2.10	自整角机	Synchro					
2.11	旋转变压器	Resolver					
2.12	模拟和多级数字变换器 或传感器 (用作指示和测量)	Analogue and multiple-step digital transducers or sensors (as used indicating or measuring purposes)					
2.13	压力变换器	Pressure transducer				BP	=
2.14	位置变换器	Position transducer				BQ	=
2.15	旋转变换器 (测速发电机)	Rotation transducer (tachogenerator)				BR	=
2.16	温度变换器	Temperature transducer				BT	=
2.17	速度变换器	Velocity transducer	BV	=			
3	电容器	Capacitor	C		=		
4	二进制元件, 延迟器件, 存储器件		D		=		
4.1	数字集成电路和器件; 延迟线	Digital integrated circuits and devices; Delay line					
4.2	双稳态元件	Bistable element					
4.3	单稳态元件	Monostable element					
4.4	磁心存储器	Core storage					
4.5	寄存器	Register					
4.6	磁带记录机	Magnetic tape recorder					
4.7	盘式记录机	Disk recorder					
5	其它元器件		E		=		
5.1	本表其它地方未规定的器件						
5.2	发热器件	Heating device				EH	=
5.3	照明灯	Lamp for lighting				EL	=
5.4	空气调节器	Ventilator				EV	=
6	保护器件		F		=		
6.1	过电压放电器件	Over voltage discharge device					
6.2	避雷器	Arrester					
6.3	具有瞬时动作的限流保护器件	Current threshold protective device with instantaneous action				FA	=
6.4	具有延时动作的限流保护器件	Current threshold protective device with time-lag action				FR	=

(续)

序号	设备、装置和元器件种类及示例		基本文字符号		IEC
	中文名称	英文名称	单字母	双字母	
6.5	具有延时和瞬时动作的限流保护器件	Current threshold protective device with instantaneous and time-lag action	F	FS	=
6.6	熔断器	Fuse		FU	=
6.7	限压保护器件	Voltage threshold protective device		FV	=
7	发生器、发电机、电源		G		=
7.1	旋转发电机	Rotating generator			
7.2	振荡器	Oscillator			
7.3	发生器	Generator			
7.4	同步发电机	Synchronous generator		GS	=
7.5	异步发电机	Asynchronous generator		GA	
7.6	蓄电池	Battery		GB	=
7.7	旋转式或固定式变频器	Rotating or static frequency converter		GF	=
8	信号器件		H		=
8.1	声响指示器	Acoustical indicator		HA	=
8.2	光指示器	Optical indicator		HL	=
8.3	指示灯	Indicator lamp		HL	=
9	继电器、接触器		K		=
9.1	瞬时接触继电器	Instantaneous contactor relay		KA	=
9.2	瞬时有或无继电器	Instantaneous all or nothing relay		KA	=
9.3	交流继电器	Alternating relay		KA	
9.4	闭锁接触继电器(机械闭锁或永磁铁式有或无继电器)	Latching contactor relay (all-or-nothing relay with mechanical latch or permanent magnet)		KL	=
9.5	双稳态继电器	Bistable relay		KL	=
9.6	接触器	Contactor		KM	=
9.7	极化继电器	Polarized relay		KP	=
9.8	簧片继电器	Reed relay		KR	=
9.9	延时有或无继电器	Time-delay all-or-nothing relay		KT	=
9.10	逆流继电器	Reverse current relay		KR	=
10	电感器、电抗器		L		=
10.1	感应线圈	Induction coil			
10.2	线路陷波器	Line trap			
10.3	电抗器(并联和串联)	Reactors (shunt and series)			

(续)

序号	设备、装置和元器件种类及示例		基本文字符号		IEC
	中文名称	英文名称	单字母	双字母	
11	电动机		M		=
11.1	电动机	Motor			
11.2	同步电动机	Synchronous motor		MS	
11.3	可做发电机或电动机用的电机	Machine capable of use as a generator or motor		MG	
11.4	力矩电动机	Torgue motor		MT	
12	模拟元件		N		=
12.1	运算放大器	Operational amplifier			
12.2	混合模拟/数字器件	Hybrid analogue/digital device			
13	测量设备、试验设备		P		=
13.1	指示器件	Indicating devices			
13.2	记录器件	Recording devices			
13.3	积算测量器件	Integrating measuring devices			
13.4	信号发生器	Signal generator			
13.5	电流表	Ammeter		PA	=
13.6	(脉冲) 计数器	(Pulse) Counter		PC	=
13.7	电度表	Watt hour meter		PJ	=
13.8	记录仪器	Recording instrument		PS	=
13.9	时钟, 操作时间表	Clock, Operating time meter		PT	=
13.10	电压表	Voltmeter	PV	=	
14	电力电路的开关器件		Q		=
14.1	断路器	Circuit-breaker		QF	=
14.2	电动机保护开关	Motor protection switch		QM	=
14.3	隔离开关	Disconnector (isolator)		QS	=
15	电阻器		R		=
15.1	电阻器	Resistor			
15.2	变阻器	Rheostat			
15.3	电位器	Potentiometer		RP	=
15.4	测量分路器	Measuring shunt		RS	=
15.5	热敏电阻器	Resistor with inherent variability dependent on the temperature		RT	=
15.6	压敏电阻器	Resistor with inherent variability dependent on the voltage	RV	=	

(续)

序号	设备、装置和元器件种类及示例		基本文字符号		IEC
	中文名称	英文名称	单字母	双字母	
16	控制、记忆、信号电路的开关器件选择器		S		=
16.1	拨号接触器	Dial contact			=
16.2	连接级	Connecting stage			=
16.3	控制开关	Control switch		SA	=
16.4	选择开关	Selector switch		SA	=
16.5	按钮开关	Push-button		SB	=
16.6	机电式有或无传感器(单级数字传感器)	All-or-nothing sensors of mechanical and electronic nature (one-step digital sensors)			
16.7	液体标高传感器	Liquid level sensor		SL	=
16.8	压力传感器	Pressure sensor		SP	=
16.9	位置传感器(包括接近传感器)	Position sensor (including proximity-sensor)		SQ	=
16.10	转数传感器	Rotation sensor		SR	=
16.11	温度传感器	Temperature sensor	ST	=	
17	变压器		T		=
17.1	电流互感器	Current transformer		TA	=
17.2	控制电路电源用变压器	Transformer for control circuit supply		TC	=
17.3	电力变压器	Power transformer		TM	=
17.4	磁稳压器	Magnetic stabilizer		TS	=
17.5	电压互感器			TV	=
18	调制器、变换器		U		=
18.1	鉴频器	Disoriminator			
18.2	解调器	Demodulator			
18.3	变频器	Frequency changer			
18.4	编码器	Coder			
18.5	变流器	Converter			
18.6	逆变器	Inverter			
18.7	整流器	Rectifier			
18.8	电报译码器	Telegraph translator			

(续)

序号	设备、装置和元器件种类及示例		基本文字符号		IEC	
	中文名称	英文名称	单字母	双字母		
19	电子管、晶体管		V		=	
19.1	气体放电管	Gas-discharge tube				
19.2	二极管	Diode				
19.3	晶体管	Transistor				
19.4	晶闸管	Thyristor				
19.5	电子管	Electronic tube		VE		
19.6	控制电路用电源的整流器	Rectifier for control circuit supply		VC	=	
20	传输通道、波导、天线		W		=	
20.1	导线	Conductor				
20.2	电缆	Cable				
20.3	母线	Busbar	W		=	
20.4	波导	Waveguide				
20.5	波导定向耦合器	Waveguide directional coupler				
20.6	偶极天线	Dipole				
20.7	抛物天线	Parabolic aerial				
21	端子、插头、插座		X		=	
21.1	连接插头和插座	Connecting plug and socket				
21.2	接线柱	Clip				
21.3	电缆封端和接头	Cable sealing end and joint				
21.4	焊接端子板	Soldering terminal strip				
21.5	连接片	Link		XB		=
21.6	测试插孔	Test jack		XJ		=
21.7	插头	Plug		XP		=
21.8	插座	Socket		XS		=
21.9	端子板	Terminal board		XT		=
22	电气操作的机械器件		Y		=	
22.1	气阀	Pneumatic valve				
22.2	电磁铁	Electromagnet		YA		=
22.3	电磁制动器	Electromagnetically operated brake		YB		=

供 电 技 术 基 础 知 识

(续)

序号	设备、装置和元器件种类及示例		基本文字符号		IEC
	中文名称	英文名称	单字母	双字母	
22.4	电磁离合器	Electromagnetically operated clutch	Y	YC	=
22.5	电磁吸盘	Magnetic chuck		YH	=
22.6	电动阀	Motor operated valve		YM	
22.7	电磁阀	Electromagnetically operated valve		YV	=
23	终端设备、混合变压器、滤波器、均衡器、限幅器		Z		=
23.1	电缆平衡网络	Cable balancing network			
23.2	压缩扩展器	Compondor			
23.3	晶体滤波器	Crystal filter			
23.4	网络	Network			

5. 电气技术常用的辅助文字符号 GB7159—87《电气技术中的文字符号制订通则》的规定, 如表 JC4-24 所示。

表 JC4-24 电气技术常用的辅助文字符号 (据 GB7159—87)

序号	文字符号	中文名称	英文名称	IEC	序号	文字符号	中文名称	英文名称	IEC
1	A	电流	Current		16	CCW	逆时针	Counter clock-wise	
2	A	模拟	Analog		17	D	延时 (延迟)	Delay	
3	AC	交流	Alternating current	=	18	D	差动	Differential	=
4	A, AUT	自动	Automatic		19	D	数字	Digital	
5	ACC	加速	Accelerating		20	D	降	Down, Lower	
6	ADD	附加	Add		21	DC	直流	Direct current	=
7	ADJ	可调	Adjustability		22	DEC	减	Decrease	
8	AUX	辅助	Auxiliary		23	E	接地	Earthing	=
9	ASY	异步	Asynchronizing		24	EM	紧急	Emergency	
10	B, BRK	制动	Braking		25	F	快速	Fast	
11	BK	黑	Black	=	26	FB	反馈	Feedback	
12	BL	蓝	Blue	=	27	FW	正, 向前	Forward	
13	BW	向后	Backward		28	GN	绿	Green	=
14	C	控制	Control		29	H	高	High	=
15	CW	顺时针	Clockwise		30	IN	输入	Input	

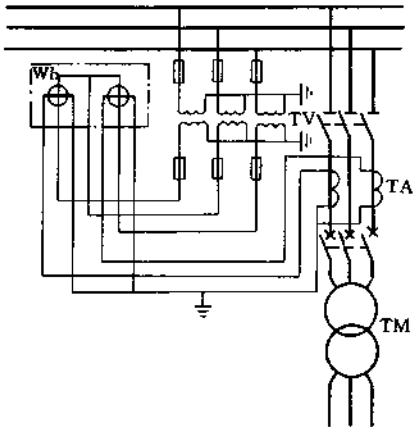
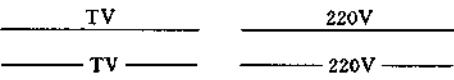
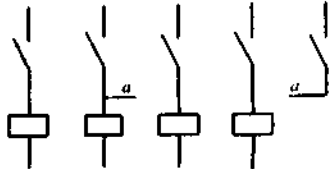
(续)

序号	文字符号	中文名称	英文名称	IEC	序号	文字符号	中文名称	英文名称	IEC
31	INC	增	Increase		51	R	右	Right	
32	IND	感应	Induction		52	R	反	Reverse	
33	L	左	Left		53	RD	红	Red	=
34	L	限制	Limiting		54	R, RST	复位	Reset	
35	L	低	Low	=	55	RES	备用	Reservation	=
36	LA	闭锁	Latching		56	RUN	运转	Run	
37	M	主	Main		57	S	信号	Signal	
38	M	中	Medium		58	ST	起动	Start	
39	M	中间线	Mid-wire	=	59	S, SET	置位, 定位	Setting	
40	M, MAN	手动	Manual		60	SAT	饱和	Saturate	
41	N	中性线	Neutral	=	61	STE	步进	Stepping	
42	OFF	断开	Open, off		62	STP	停止	Stop	
43	ON	闭合	Close, on		63	SYN	同步	Synchronizing	
44	OUT	输出	Output		64	T	温度	Temperature	
45	P	压力	Pressure		65	T	时间	Time	
46	P	保护	Protection		66	TE	无噪声(防干扰)接地	Noiseless earthing	=
47	PE	保护接地	Protective earthing	=	67	V	真空	Vacuum	
48	PEN	保护接地与中性线共用	Protective earthing neutral	=	68	V	速度	Velocity	
49	PU	不接地保护	Protective un-earthing	=	69	V	电压	Voltage	
					70	WH	白	White	=
50	R	记录	Recording		71	YE	黄	Yellow	=

- 注: 1. 表中“IEC”栏中标“=”者, 表示该文字符号与国际标准 IEC 相一致。
2. GB7159 规定: 辅助文字符号是用以表示电气设备、装置和元器件以及线路的功能、状态和特征的。如“SYN”表示同步、“RD”表示红色等。辅助文字符号也可放在表示种类的单字母符号后边组成双字母符号, 如“SP”表示压力传感器, “YB”表示“电磁制动器”。为简化文字符号起见, 若辅助文字符号由两个以上字母组成时, 允许只采用其第一位字母进行组合, 如“MS”表示同步电动机等。辅助文字符号还可以单独使用, 如“ON”表示接通, “PE”表示保护接地等。
3. GB7159 规定: 在优先采用本标准中规定的单字母符号、双字母符号和辅助文字符号前提下, 可补充本标准未列出的双字母符号和辅助文字符号。又规定: 文字符号应按有关电气名词术语国家标准或专业标准中规定的英文术语缩写而成。……因拉丁字母“1”、“O”易同阿拉伯数字“1”和“0”混淆, 因此不允许单独做为文字符号使用。
4. 关于文字符号的新旧国家标准及其主要特点和编写要求, 可参看刘介才主编《工厂供电简明设计手册》(机械工业出版社 1993 年版) 下篇表 ZL1-4, 此略。

5. 电气制图的图样画法 GB6988.2—86《电气制图·一般规则》中关于连接线画法的规定,如表 JC4-25 所示。GB6988.3—86《电气制图·系统图和框图》中关于系统图和框图画法的规定,如表 JC4-26 所示。GB6988.4—86《电气制图·电路图》中关于电路图画法的规定,如表 JC4-27 所示。GB6988.5—86《电气制图·接线图和接线表》中关于接线图画法的规定,如表 JC4-28 所示。

表 JC4-25 电气制图的连接线画法 (据 GB6988.2—86)

序号	项目	有关规定和要求
1	实线和虚线的应用	连接线应该用实线,计划扩展的内容应该用虚线
	画线的禁忌	一条连接线不应在与另一条线交叉处改变方向,也不应穿过其它连接线的连接点
	图样线条的粗细	<p>为了突出或区分某些电路、功能等,导线符号、信号通路、连接线等可采用不同粗细的图线来表示。例如下图所示电路中,电源母线及主变压器电路用粗实线表示,而电流、电压互感器及其二次电路用细实线绘制</p> 
	多线平行的分组	如有多条平行连接线,为便于看图,应按功能进行分组。不能按功能分组时,可任意分组,每组不多于三条线。组间距离应大于线间距离
2	连接线的标记	<p>无论是单根的或成组的连接线,其识别标记一般注在靠近连接线的上方,也可断开连接线标注,如下图所示。标记也可用来表示其去向</p> 
3	中断线的标记	<p>当穿越图面的连接线较长或穿越稠密区域时,允许将连接线中断,在中断处加相应的标记,如下图所示</p> 

(续)

序号	项 目	有 关 规 定 和 要 求
3	去向相同的线组中 断标记	<p>去向相同的线组,也可以中断,并在图上线组的末端加注适当的标记,如下图所示</p>
	跨越两张图的连接 线中断的标记	<p>接到另一张图上的连接线,应该中断,并在连接线上中断处注明其另一图上同一连接线中断处的图号、张次、图幅分区代号等标记,如下图所示</p>
4	可供选择的连接表示法	<p>对可供选择的几种连接法应分别用序号表示,并将序号注在连接线的中断处,如下图所示</p>
5	平行线中间的单线 表示	
	— 组 导 线 的 单 线 表 示	<p>GB4728.3 的 规定</p> <p>例: 3 根导线的单线表示</p>
		<p>线组两端各 有顺序编号的 单线表示</p> <p>应于单线两端标明编号</p>
<p>线组两端各 线位置不同的 单线表示</p> <p>两端应分别标注对应编号</p>		

(续)

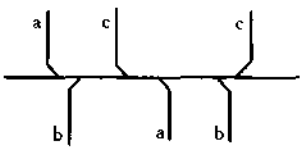
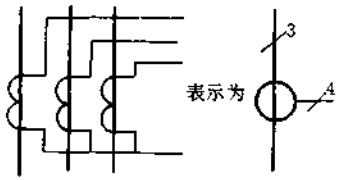
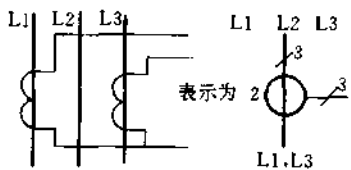
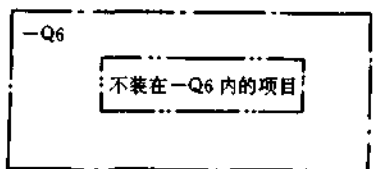

序号	项 目		有 关 规 定 和 要 求
5	单 线 表 示 法	一组导线的单线表示 单根导线汇入一组导线中的单线表示	如下图画法，并在单线末端标注符号 
		三相星形连接 电流互感器的单线表示	 表示为
		两相 V 形连接	 表示为
6	围 框 表 示 法	围框的功能	为了显示图样中所表示的某些功能单元、结构单元或项目组（如电器组、继电保护装置等）
		围框的形式	①围框线用点划线表示。为了包围单元的全部项目内容并保持图面清晰，围框的形状可以是不规则的 ②如果一个单元的围框内的图上含有不属于该单元的元件符号，则必须对这些符号加双点划线的围框，并加注代号或注解，如以下示意图所示 
		围框线画法要求	围框线不应与元件符号相交，但插头插座和端子符号除外。它们可以在围框线上，或恰好在单元围框线内，或者可以被省略，如下图所示 

表 JC4-26 电气制图的系统图和框图画法 (据 GB6988.3—86)

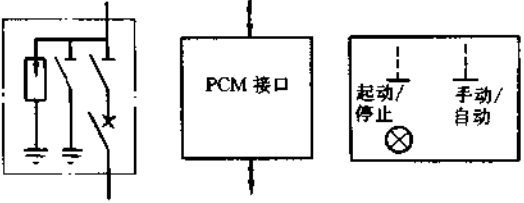
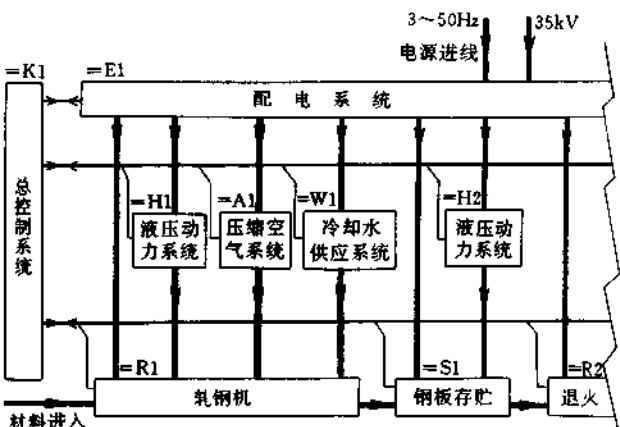
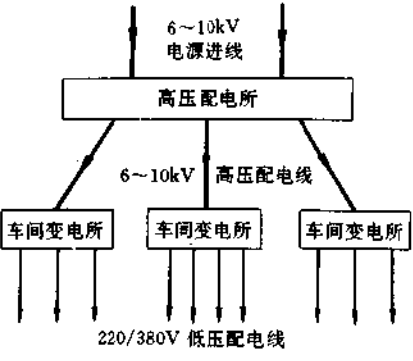
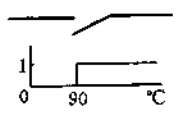
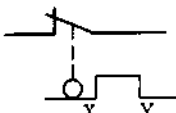
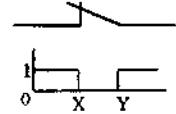
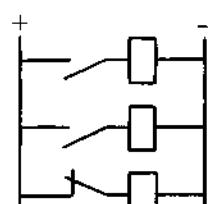
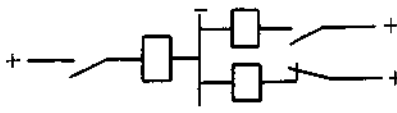
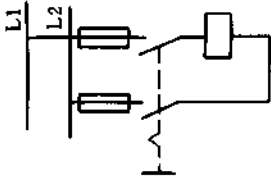
序号	项 目	有 关 规 定 和 要 求
1	采用以方框为主的符号绘制	<p>框内的注释可以采用符号、文字或同时采用符号和文字,如下图所示</p> 
2	可分层次绘制	较高层次的系统图和框图可反映对象的概况;较低层次的系统图和框图可将对象表达得较为详细
3	可标注项目代号	图中各框可按 GB5094—85 的规定 (参看表 JC4-22) 标注项目代号
4	图面布局要求	系统图和框图的布局应清晰,并利于识别过程和信息的流向。主要流程或信息流向,宜用加粗实线绘制
5	示例之一:轧钢厂的系统图	
6	示例之二:工厂供电系统框图	

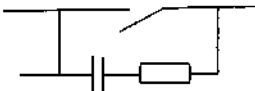
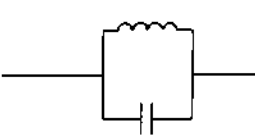
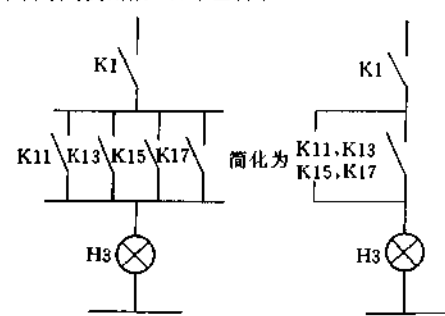
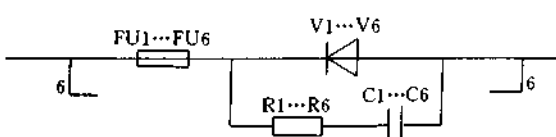
表 JC4-27 电气制图的电路图画法 (据 GB6988.4—86)

序号	项目	有关规定和要求
1	图上位置表示法	
1.1	图幅分区法	分区的尺寸和标注按 GB6988.2—86 的规定 (参看表 JC4-3 序号 3.3)
1.2	电路编号法	电路和分支电路可用数字编号来表示其位置。数字编号应按从左至右或从上至下的顺序排列
1.3	项目列表法	在图的边缘部分绘制一个以项目代号分类的表格。表格中的项目代号与图中相应的图形符号在垂直或水平方向对齐
2	元器件和设备及其工作状态的表示法	
2.1	元器件和设备的表示法	<p>①元器件和设备应该采用图形符号来表示。需要时还可采用简化外形来表示,同时绘出其所有的连接</p> <p>②符号旁应标注项目代号,需要时还可标注主要参数。参数也可列表表示。表格内一般包括项目代号、名称、型号、规格和数量等内容</p>
2.2	元器件和设备工作状态的表示法	<p>①元器件和设备的可动部分通常应表示在非激励或不工作的状态或位置</p> <p>②事故、备用、报警等开关应该表示在设备正常使用时的位置。如在特定的位置时,则图上应有说明</p> <p>③多重开闭器件的各组成部分必须表示在相互一致的位置上,而不管电路的实际工作状态</p>
3	符号的布置 (适于在驱动部分与被驱动部分之间有机械连接的器件)	
3.1	集中表示法	
3.2	半集中表示法	<p>机械连接线允许折弯、分支和交叉</p>
3.3	分开表示法	
4	触点的表示法	
4.1	触点符号的动作方向	继电器和接触器的触点符号的动作方向应该取向一致

(续)

序号	项 目	有 关 规 定 和 要 求
4.2	触点运行方式的表示法	<p>①利用坐标图形,横轴表示运行位置,纵轴上的“0”表示触点断开,“1”表示触点闭合。例如温度等于90℃时触点闭合,其图形如下</p>  <p>②利用操作器件的符号,例如凸轮推动的器件,触点在位置X和Y之间断开,在其它位置闭合,可表示如下图所示</p>  <p>该凸轮推动的器件,其触点符号若用坐标图形表示,则为</p>  <p>③利用注释、标记、表格,或加简要说明</p>
5	电路表示法	
5.1	电源的表示法	<p>①用线条表示,如下图所示</p>  <p>②用+、-、L1、L2、L3、N等符号表示,如下图所示</p>  <p>③同时用线条和符号表示,如右图所示</p>  <p>④对于公用的供电线(例如电源线、母线等)可用电源的电压值或其它标记表示</p>
5.2	主电路的表示法	<p>①电力系统的电路图上,主电路通常用单线表示。但为了表示互感器的连接方式,则其局部的主电路必须用多线表示</p> <p>②多相电源电路宜按相序从上至下或从左至右排列。中性线应绘制在相线的下方或右方</p>

(续)

序号	项目	有关规定和要求
5.3	类似项目的排列	电路垂直绘制时,类似项目宜横向对齐;电路水平绘制时,类似项目宜纵向对齐
	功能相关项目的连接	①功能上相关的项目应靠近绘制,以便关系表达得清晰,例如下图所示电路  ②同等重要的并联通路应依主电路对称地布置,如下图所示 
	连接线	①连接线过长时,可采用中断线表示法(参看表 JC4-25 序号 3) ②成组的外接线可采用表格的形式,表明外接线的端子代号、电路特性和去向 ③当机械功能与电气功能关系密切时,则应表示出符号之间的联系
5.4	并联电路的简化	多个相同的支路并联时,可用标有公共连接符号的一个支路来表示,并标上全部项目代号和并联的支路数,如下图所示  下图表示 6 个支路并联 
	相同电路的简化	相同的电路重复出现时,仅需详细地表示出其中的一个,其余的电路可用适当的说明来代替
	外部电路的简化	为便于理解电路原理而绘出的外部或公共电路可用简化形式表示(例如用虚线,略去其中部件设备),并加注查找其完整电路的标记
	功能单元的简化	功能单元可用方框符号或端子功能图来代替,但需加注标记,以便查找被其代替的详细电路

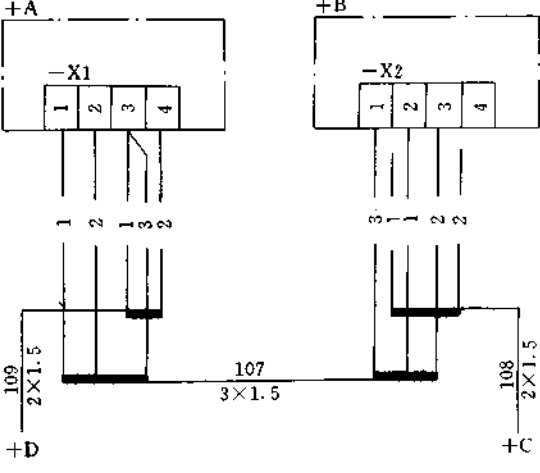
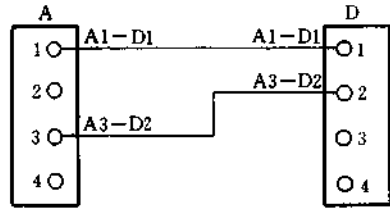
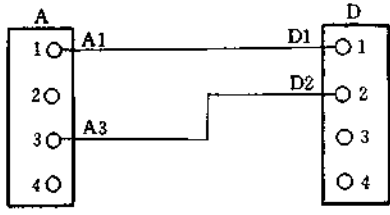
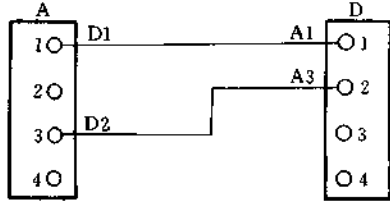
(续)

序号	项 目		有 关 规 定 和 要 求
5.5	部分常用基础电路的模式	无源两端网络	例：
		无源四端网络	例：
		桥式电路	例：

表 JC4-28 电气制图的接线图画法 (据 GB6988.5—86)

序号	项 目		有 关 规 定 和 要 求
1	项目的表示方法		<p>①各个项目(如元件、器件、设备等)应采用简化外形(如正方形、矩形、圆形等)表示,必要时也可用图形符号表示。符号旁应标注项目代号,并应与电路图中的标注一致</p> <p>②图形符号应符合 GB4728 的规定(参看表 JC4-20)</p> <p>③项目代号应符合 GB5094 的规定(参看表 JC4-22)</p>
2	端子的表示方法		<p>①端子一般用图形符号和端子代号表示。当用简化外形表示端子所在的项目时,可不画端子符号,仅用端子代号表示</p> <p>②如需区别允许拆卸和不允许拆卸的连接时,则必须在图或表中予以注明</p>
3	连接导线的表示方法	连续线表示法	<p>两端子之间的导线采用连续的线条表示,如下图所示</p>
		中断线表示法	<p>两端子之间的导线采用中断的线条表示,中断处必须标明导线的去向,如下图所示</p>

(续)

序号	项目	有关规定和要求
4	成组(束)导线表示法	<p>导线组、电缆、缆形线束等可用加粗或部分加粗的线条表示,如下图所示。导线汇入成组导线的画法参看表 JC4-25 序号 5</p> 
5	从属两端 标记	<p>导线每一端都标出与本端连接的端子标记及与远端连接的端子标记,如下图所示</p> 
	从属本端 标记	<p>导线终端的标记与其所连接的端子标记相同,如下图所示</p> 
	从属远端 标记	<p>导线终端的标记与其远端所连接的端子标记相同,如下图所示</p> 

(续)

序号	项 目	有 关 规 定 和 要 求
5	导线的标记方法 (据 GB4884—85 《绝缘导线的标记》)	<p>独立标记</p> <p>导线终端的标记与导线所连接的端子标记无关, 如下图所示</p>
		<p>组合标记</p> <p>导线的从属标记与独立标记一起使用, 如下图所示</p>

主要参考文献

- 1 国家标准 GB/T13361—92 技术制图通用术语. 北京: 中国标准出版社, 1992
- 2 国家标准 GB/T14689—93 技术制图·图纸幅面和格式. 北京: 中国标准出版社, 1994
- 3 国家标准 GB/T14690—93 技术制图·比例. 北京: 中国标准出版社, 1994
- 4 国家标准 GB/T14691—93 技术制图·字体. 北京: 中国标准出版社, 1994
- 5 国家标准 GB10609.1—89 技术制图·标题栏. 北京: 中国标准出版社, 1990
- 6 国家标准 GB10609.2—89 技术制图·明细栏. 北京: 中国标准出版社, 1990
- 7 国家标准 GB4457~4460—84, GB131—83 机械制图. 北京: 中国标准出版社, 1984
- 8 国家标准局编. 电气制图及图形符号国家标准汇编. 北京: 中国标准出版社, 1989
- 9 国家标准 GBJ1—86 房屋建筑制图统一标准. 北京: 中国计划出版社, 1988
- 10 刘小年主编. 机械制图. 北京: 机械工业出版社, 1994
- 11 刘介才主编. 工厂供电简明设计手册. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 12 刘介才. 浅谈电气图形符号的派生. 电世界. 1993, (8)
- 13 刘介才. 电气图形符号规范化的两个问题. 电工技术. 1996, (3)

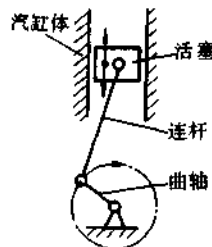
五、机械工程基础 (JC5)

(一) 常用的机械工程名词术语

供电技术中较常用的机械工程名词术语, 如表 JC5-1 所示。

表 JC5-1 常用的机械工程名词术语

序号	名词术语	含义说明
1	机械 machinery mechanism	为机器、机构等的泛称
2	机构 mechanism	指各组成部分(构件)之间具有一定的相对运动的机械装置。它能传递、转换运动或实现某种特定的运动, 如车床的走刀机构、开关的操动机构、钟表的齿轮机构等
3	机器 machine	指能利用机械能作功或转换机械能的机构。通常分为三类: ①原动机: 将自然界的能或其它非机械能变为机械能, 如内燃机、电动机等。②变换机: 将机械能变为非机械能, 如发电机、空气压缩机等。③工作机: 接受机械能以完成生产过程, 如各种机床、起重机等。原动机与工作机的联合体, 亦称“机器”, 如自带电动机的机床等 机器与机构的区别在于: 机构不具备机器所具有的作机械功或转换机械能的功能, 而机器则可看作是一种机构或若干机构的组合
4	机床 machine tool	机器的一类, 通常指金属切削机床、木材切削机床和锻压机床等。机床上安装有工件和工具(如切削刀具、冲模等)。机床经其传动机构获得所需的运动, 利用工具来切削或锻压工件
5	机组 set, unit	指由几种功能不同的机器联合而成的、能够完成一种技术任务的联合体, 例如柴油发电机组、电动发电机组等
6	零件 part	“机械零件”的简称。它是组成机器和机构的基本单元。按其应用范围可分为两类: ①通用零件: 指各种机构中均能用到的零件, 且具有同一功能, 如齿轮、螺栓等。②专用零件: 指仅适用于一定类型机械上的零件, 并显示此种机械的特点, 如内燃机上的曲轴、汽轮机上的叶片等
7	部件 component	指为完成某一功能而结构上组合在一起的一套协同工作的零件总体。部件中各零件之间的联接, 不一定是刚性联接, 例如滚动轴承中的零件之间就存在相对运动
8	构件 member, component	指机器中每一独立运动的单元体。它可以是一个零件, 也可以是由若干零件刚性联接而成的部件。组成机构的构件可按其运动性质分为三类: ①固定件(机架): 指用来支承活动构件的构件, 如附图所示内燃机中的汽缸体, 它用以支撑活塞和曲轴等。②主动件(原动杆): 指驱动力作用的构件或带动其它构件运动的构件, 如附图所示的活塞, 它在燃气的推动下首先运动, 带动连杆和曲轴运动。③从动件(随动件): 指机构中随着主动件的运动而运动的其余构件, 如附图中的连杆和曲轴。任何机构必须有一个构件被相对地当作固定件。在活动机构中则必有一个或几个主动件, 而其余的构件则为从动件

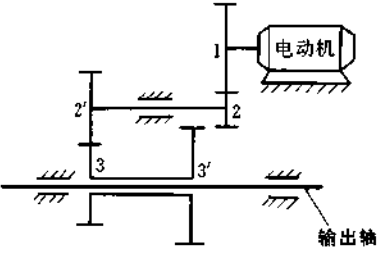
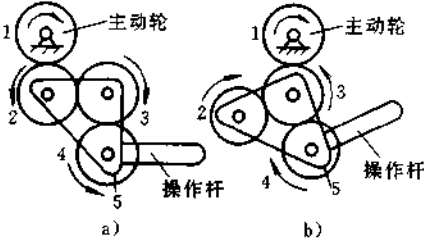


(续)

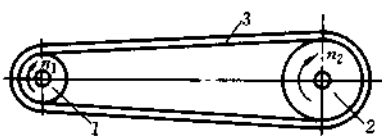
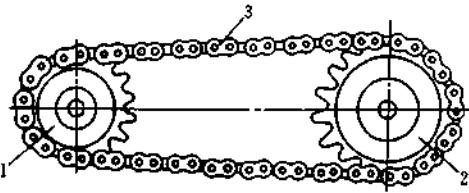
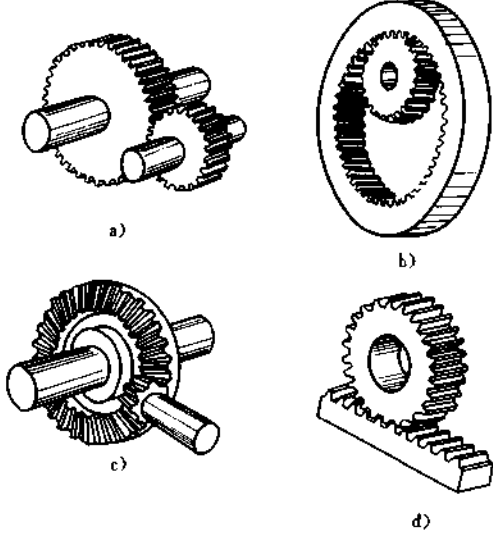
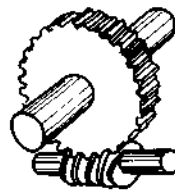
序号	名词术语	含义说明
9	运动副 kinematic pair	指由两个构件组成的具有一定的相对运动的可动联接。例如汽缸中的活塞与汽缸体、连杆与相联的活塞均为运动副。这里的“副”，为“一对”的意思。按两构件之间接触形式的不同，运动副分为两类：①低副：指两构件通过面接触组成的运动副，其承载能力较强，但摩擦较大，效率较低。低副又有转动副和移动副两种形式。②高副：指两构件通过点或线接触组成的运动副，其承载能力较差，但能传递较复杂的运动
10	连杆机构 link mechanism	连杆指两端与相邻构件成铰接的刚性构件，一般均能作复杂运动（移动和转动）。连杆机构亦称“杠杆机构”，指所有的相邻构件均用铰接（即均为转动副）或兼用滑接与铰接（即兼有转动副和移动副）的机构。连杆机构按构件件数可分为两杆机构、四杆机构和多杆机构
11	铰链四杆机构 hinged four-link mechanism	指构件间全为铰接，即全为转动副的四杆机构。按其曲柄与摇杆的存在情况，分三种基本形式：①曲柄摇杆机构：其一个连架杆为曲柄，另一个连架杆为摇杆，其示意图如图 a 所示。②双曲柄机构：其两个连架杆均为曲柄，其示意图如图 b 所示。③双摇杆机构：其两个连架杆均为摇杆，其示意图如图 c 所示
12	凸轮机构 cam mechanism	凸轮指一种具有曲面周缘或凹槽的转动零件，凸轮机构指由凸轮、从动杆和机架三个基本构件组成的机构，通常凸轮作匀速转动，驱使从动杆作有规律的往复移动或摆动
13	棘轮机构 ratchet mechanism	为间歇运动机构的一种。它主要由棘轮、棘爪和机架组成。按棘轮的运动方向，它可分为单向棘轮机构和可变向式棘轮机构两种，其中应用最广的单向式棘轮机构又分三种形式：①单动式棘轮机构，如图 a 所示。其特点是摇杆逆时针摆动时，能使棘轮逆时针转动一个角度；而摇杆顺时针摆动时，棘轮则静止不动。②双动式棘轮机构，如图 b 所示。其特点是摇杆往复摆动时，均能使棘轮单向转动。③摩擦式棘轮机构，如图 c 所示。当摇杆及与之固定联接的内轮顺时针摆动时，滚珠（相当棘轮）被楔紧于外套环与内轮间的楔形槽内，因而使套环一同按顺时针转动；而当摇杆逆时针摆动时，由于滚珠退至图中位置，因此套环停止不动。棘轮机构有时也用作防止反转的装置

1
E
f
0
1
4
7

(续)

序号	名词术语	含义说明
14	<p>变速机构 change speed mechanism</p>	<p>指变更转速的机构。最常用的滑移齿轮变速机构示意图如附图所示。当电动机通过齿轮1、2、2'、3传递动力时，输出轴获得某一转速。如果滑移齿轮3-3'向右滑移，使齿轮3'与齿轮2啮合时，则输出轴将获得另一转速，从而实现变速传动</p> 
15	<p>变向机构 change direction mechanism</p>	<p>指变更旋转方向的机构。如图 a、b 所示为三星变向机构。它由四个齿轮组成，齿轮 2 和 3 活套在刚性构件 5 的轴上，构件 5 可绕轮 4 的轴线回转。在图 a 所示位置时，从动轮 4 的转向与主动轮 1 的转向相反。而在图 b 所示位置时，从动轮 4 的转向则与主动轮 1 的转向相同</p> 
16	<p>机械传动 mechanical drive</p>	<p>指利用一些机械零件如齿轮、蜗杆、螺杆、带轮、链轮等组成的传动方式 机械传动按传递力的方法分类如下：</p> <ul style="list-style-type: none"> 摩擦传动 <ul style="list-style-type: none"> 摩擦轮传动 带传动 <ul style="list-style-type: none"> 平行带传动 V带传动 圆形带传动 同步齿形带传动 齿轮传动 <ul style="list-style-type: none"> 用于两轴平行 <ul style="list-style-type: none"> 按齿轮排列方向 <ul style="list-style-type: none"> 直齿圆柱齿轮传动 斜齿圆柱齿轮传动 人字齿圆柱齿轮传动 按啮合情况 <ul style="list-style-type: none"> 外啮合齿轮传动 内啮合齿轮传动 齿轮齿条传动 用于两轴相交 <ul style="list-style-type: none"> 直齿圆锥齿轮传动 曲齿圆锥齿轮传动 螺旋齿圆锥齿轮传动 用于两轴相错——螺旋齿圆柱齿轮传动 蜗杆传动 螺旋传动 链传动

(续)

序号	名词术语	含义说明
17	带传动 tape drive	<p>指由装在主动轴上的主动带轮 1、装在从动轴上的从动带轮 2 及紧套在这两个带轮上的传动带 3 所组成的传动方式, 如图所示。它靠传动带与主、从动轮间的摩擦力来传递运动和动力, 因此它属摩擦传动</p> 
18	链传动 chain drive	<p>指由装在主动轴上的主动链轮 1、装在从动轴上的从动链轮 2 及绕在这两个链轮上的环形链条 3 所组成的传动方式, 如图所示。它靠链条与链轮的轮齿啮合来传递运动和动力, 因此它属啮合传动</p> 
19	齿轮传动 gear drive	<p>指由齿轮与齿轮或齿轮与齿条的啮合来传递运动和动力的传动方式, 如图所示。齿轮传动是机械中应用最广的一种传动方式</p> 
20	蜗杆传动 worm drive	<p>指由主动的蜗杆及与它啮合的从动蜗轮组成的传动方式, 如图所示。它用于传递互相垂直的两交错轴之间的运动和动力。蜗杆传动实质上也是一种齿轮传动, 只是蜗轮、蜗杆与一般齿轮、齿条在齿廓形状上不同</p> 

(续)

序号	名词术语	含义说明
21	螺旋传动 spiral drive	指利用螺杆和螺母组成的螺旋副来传递运动和动力的传动方式。它按螺杆与螺母的相对运动不同分为两种：一种是螺母固定不动，螺杆转动，如螺旋千斤顶、螺旋压力机等。另一种是螺杆转动，螺母做直线运动，如车床上的丝杠和刀架移动机构等
22	液压传动 hydraulic drive	指以油液为工作介质，利用液体压力来传递运动和动力的传动方式。液压传动与机械传动相比，具有重量轻，体积小，易于实现无级调速和过载保护等许多优点，因而在机械工程中应用日益广泛
23	螺栓联接 bolt joint	指利用螺栓穿过被联接件的孔，然后拧上螺母，将被联接件联成一体的一种联接方式，如图所示。这种联接，结构简单，装拆方便，因此应用极广 
24	螺柱联接 stud joint	指利用螺柱的一端旋入一被联接件的螺孔内，另一端穿过其它被联接件的光孔，然后旋上螺母而将所有被联接件联成一体的一种联接方式。这种联接用于被联接件之一太厚，不宜穿孔而需经常拆装的场合
25	螺钉联接 screwed joint	指利用螺钉直接拧入被联接件之一的螺孔内，不用螺母而实现联接的一种方式。这种联接多用于受力不大又不需经常拆装的场合
26	紧定螺钉联接 tight screwed joint	指利用紧定螺钉旋入一零件，并以其末端顶紧另一零件以固定两零件的相对位置的一种联接方式。这种联接多用于轴与轴上零件的联接，例如电风扇的扇叶部分就是利用紧定螺钉与转轴相联接固定的
27	键联接 key joint	指利用各种键来实现轴类与轮毂类零件如齿轮、带轮等的固定联接或轴向滑合联接的一种联接方式。键按结构形式可分为平键、半圆键、楔键、花键等几大类。平键又分普通平键、导向平键、滑键等
28	销联接 pin joint	指利用销来固定零件之间相对位置的一种联接方式。销的基本形式有普通圆柱销、圆锥销和开口销等
29	轴 axis	轴是机械中的重要零件，其功用是支承转动零件如齿轮、带轮、链轮、蜗轮等，并传递运动和动力。轴按外形分，有直轴和曲轴；按承载情况分，有心轴、转轴和传动轴等
30	轴承 axis bearing	轴承是机械中用来支承轴的一种重要部件，依靠它来保持轴线的回转精度，减少轴与支承间由于相对转动而引起的摩擦和磨损。轴承按其工作的摩擦性质，可分为滑动轴承和滚动轴承两大类。轴承采用润滑油或润滑脂或再调以固体润滑剂（如石墨、二硫化钼等）来作润滑剂
31	联轴器 coupling	指用于固定联接轴与轴、或轴与回转零件的联接部件。联轴器按其工作性能，可分刚性联轴器和弹性联轴器两大类。刚性联轴器又分固定式和可移式两类。固定式刚性联轴器结构简单，但要求被联接的两轴严格对好中心，而且在运转时不得有任何相对移动。可移式刚性联轴器则可补偿两轴在运转中发生一定限度内的相对位移和偏斜。弹性联轴器靠弹性元件的弹性变形，补偿两轴线的相对位移，同时它还具有缓冲和吸振的能力，常用于高速及有振动或冲击的场合

(续)

序号	名词术语	含义说明
32	离合器 clutch	指用于轴与轴、或轴与回转零件之间随时接合并能随时分离的联接部件。离合器按其工作方式,可分操纵离合器和自动离合器两大类。操纵离合器按工作原理又分嵌入式和摩擦式两类。嵌入式离合器靠其两个相对端面上的牙、齿等接触来传递转矩,按其结构形式分,有牙嵌式、齿嵌式、销嵌式、键嵌式和转键式等多种。摩擦式离合器靠两个相对端面接触产生的摩擦力来传递转矩,按其结构形式分,有圆盘式、圆锥式、块式和带式等多种
33	制动器 brake	指使机器或车辆的运转部分减速、停止或防止原位移动的机构,俗称“刹车”或“闸”。常用的制动器有锥形制动器、带式制动器和闸瓦式制动器
34	生产过程 production process	指将原材料转变为成品的全过程,包括原材料的运输和储备、毛坯制造、零件加工(机械加工、热处理、焊接、表面处理等)及产品的装配、试验、包装等内容
35	工艺过程 technology process	指生产过程中利用生产工具改变生产对象的形状、尺寸、成分、性质、位置或表面状态,使其成为成品或半成品的过程,如机器制造过程中的铸造、锻压、切削加工、热处理、焊接、装配、油漆等过程
36	工序 working procedure	为工艺过程的一个组成部分,指一个或一组工人在一个工作场地上(如一台机床或一个装配位置)对一个或几个生产对象(工件)所完成的一切连续活动的总和
37	毛坯 blank	指根据产品或其零、部件所要求的工艺尺寸、形状等略予放大,制成坯型,以供切削加工用的生产对象,如切成的棒料,浇成的铸件,锻成的锻件等
38	半成品 semi-finished product	指在工厂内的一个或几个生产阶段上完工、但尚待进一步加工的产品,亦称“半制品”,如机械厂生产的铸件、锻件、零件、部件等。毛坯亦属半成品
39	成品 end product, finished product	指在工厂内已完成全部生产过程,经检验符合规定的质量标准,可供销售的产品,包括整机和零、部件,如机床厂生产的机床及其供应外厂配套的零、部件等
40	工件 workpiece	泛指机械加工的生产对象(零件),亦称“制件”或“作件”
41	工具 tool	泛指从事劳动、生产所使用的器具,如机械加工使用的各种刀具、量具、砂轮、虎钳等,电工使用的改刀、钢丝钳、验电笔、万用电表等
42	刀具 cutter	指切削用的刀具,亦称“刀具”。它通过手动或机械对工件进行切削,以改变工件的形状和尺寸,使之符合规定的要求。如车削用的车刀、铣削用的铣刀、钻孔用的钻头
43	量具 measuring instrument	指生产中计量和检验用的工具,如机械加工中计量和检验长度的尺、卡、量规和各种比较仪等
44	夹具 clamping apparatus, jig	指在机械加工、检验或装配时用来正确安装和紧固工件或工具的一种工艺装备,可保证工件在加工、检验或装配时的精度,提高生产率,这对成批和大量生产成效尤为显著。它可分为机床夹具、检验夹具、焊接夹具、热处理夹具和装配夹具等
45	铸造 casting	指将金属(或塑料等)熔化后浇铸成一定形状物体的工艺过程和方法。主要工序包括造型、制芯、熔化金属(或塑料等)、浇注、落砂、清理和砂处理等。金属液(或塑料等)在铸型中冷却凝固成形后取出,即可获得所需铸件。我国铸造工艺,早在两三千年的商周时代就已有发展,当时的青铜铸件,如商鼎、周彝等,已达到相当高的工艺水平

(续)

序号	名词术语	含义说明
46	锻造 forging	指将加热的坯料,用手锤、锻锤或压力机等锤击或加压,使它发生塑性变形(参看表JC2-1序号29),成为一定形状和尺寸的工件的工艺过程和方法。此种工件称为“锻件”。锻造能改善金属内部结构,提高力学性能,因此常用来制造承受较大动载荷的零件
47	焊接 welding	指利用两金属件连接处的加热熔化或加压,或两者并用,以造成金属原子间或金属分子间的结合而得到永久连接的工艺过程和方法。采用熔化法的焊接,称为“熔焊”,如电弧焊、电渣焊、气焊、等离子焊接、电子束焊接、激光焊接等。采用加压法的焊接,称为“压焊”,如接触焊、摩擦焊、锻焊、冷焊等
48	切削 cutting	指利用机床的刀具或砂轮等削去工件的一部分,使工件具有一定形状、尺寸和表面光洁度的工艺过程和方法
49	热处理 heat treating	指根据不同目的,将材料或其工件加热到适当温度,保温,随后用不同方法冷却,改变其内部组织(有时仅使表面组织改变或表面成分改变),以获得所要求的性能。热处理通常分为退火、正火、淬火、回火、化学热处理和时效等。通过热处理,可改善工件的性能,提高其使用效能或寿命,在某些情况下也可使某些较廉的金属材料通过热处理后能替代某些较贵的金属材料
50	退火 annealing	指将金属材料及其制品(或玻璃)加热、保温,然后缓慢冷却的一种热处理工艺。退火的目的,包括消除内应力,以降低脆性(对玻璃并可提高光学均匀性);降低或消除化学成分的偏析(不均匀现象);软化金属,以便加工;细化金属晶粒,以改善力学性能;改善金属组织,使之具有一定的电性、磁性或其它性能
51	正火 normalizing	指将金属材料及其制品加热到一定温度(相变温度)以上,保温,然后在空气中冷却的一种热处理工艺。正火的目的是细化晶粒,消除网状碳化物及内应力,并使组织均匀等,以改善其力学性能,或为工件随后热处理作好组织的准备
52	淬火 hardening	指将工件加热到适当的温度,保温,随即在水、油或空气中快速冷却的一种热处理工艺。淬火的目的是提高硬度和强度,或改变其物理化学性能如电性、磁性、抗蚀性等。玻璃淬火亦称“钢化”
53	回火 temper	指将淬火后的工件加热(不超过临界温度),保温,然后缓慢或快速冷却的一种热处理工艺。回火的目的,是用以减低或消除淬火钢件中的内应力,或降低其强度和硬度,以提高其塑性或韧性。根据不同要求,可采用低温、中温或高温回火
54	化学热处理 chemical heat treating	指改变金属表面化学成分的一种热处理工艺。它是将工件放在含有一种或几种化学元素(如碳、氮、铝、铬、硅、硼等)或其它化合物的介质中,加热到适当的温度,保温较长的时间,使已变成活性的化学元素逐步为工件表面所吸收,并向内部扩散,其表层的化学成分和组织结构因而发生改变,以达到提高硬度、耐磨性或抗蚀性等目的。常用的化学热处理有渗碳、氮化、渗铝、渗铬、渗硅、渗硼、渗硫、渗硼、碳氮共渗、铬铝共渗等等
55	时效 ageing	指某些合金的过饱和“固溶体”(参看序号58)在室温下放置,或在较高温度下保温,其溶质原子在一定的区域富集,或者成为析出相析出的一种热处理工艺。时效后的合金硬度和强度增高,称为“时效硬化”。在室温下进行的时效,称为“自然时效”,广泛用于铝合金。在高温下保温进行的时效,称为“人工时效”,用于铝合金、镁合金、铍青铜、奥氏体耐热钢等

(续)

序号	名词术语	含义说明
56	调质 temper	指将制件淬火后又高温回火以获得强度与韧性均好的一种热处理工艺。通常用于调质钢特别是合金调质钢
57	合金 alloy	指由两种或更多种化学元素(其中至少有一种是金属)所组成的具有金属特性(参看表 JC3-1 序号 13)的物质。由两种元素组成的合金,称为“二元合金”。由三种元素组成的合金,称为“三元合金”。由三种以上元素组成的合金,称为“多元合金”。由于合金的力学、物理和化学性能往往远优于纯金属,因此现在工业应用的金属材料,几乎全是合金。在固态时的合金结构,一般分为固溶体、金属化合物和机械混合物三类
58	固溶体 solid solution	指以合金中一种主要组成物质为溶剂,溶有其它组成物质(溶质)所构成的晶体。例如黄铜,就是锌(溶质)原子溶入铜(溶剂)的晶格中而形成的固溶体。固溶体虽然仍保持着溶剂金属的晶格类型,但溶质与溶剂原子尺寸的差别,会造成晶格畸变,从而提高合金的硬度和强度
59	金属 [间] 化合物 intermetallic compound	指合金的各组成元素间相互作用而形成的具有明显金属特性的化合物,其晶格类型和性能完全不同于任一组成元素,而且其组成可用“分子式”表示。金属化合物能提高合金的强度、硬度和耐磨性,但塑性会降低
60	机械混合物 mechanical mixture	指合金的各组成元素,在固态下既不溶解,也不形成化合物,而是以混合形式组合在一起的物质。在常用合金中,大多是固溶体与金属化合物的机械混合物
61	强度 strength	指材料在载荷(外力)作用下抵抗变形和破坏的能力。抵抗外力的能力越大,则强度越高。根据受力情况的不同,材料的强度可分为抗拉、抗压、抗弯曲、抗扭转和抗剪切等强度。常用的强度指标,为静拉伸试验条件下,材料抵抗塑性变形能力的屈服点 σ_s 和抵抗破坏能力的抗拉强度 σ_b 。
62	硬度 hardness	指材料抵抗其它更硬物体压入其表面的能力。它是衡量金属材料软硬度的指标。测定金属材料硬度的方法很多,常用的有布氏硬度试验和洛氏硬度试验。布氏硬度的代号为“HB”,多用于测定未经淬火的各种钢、灰铸铁和有色金属的硬度。洛氏硬度的代号为“HR”,又分 HRA、HRB、HRC 等三种,多用于测定较硬材料的硬度。洛氏硬度操作简便,可由硬度计上直接读出硬度值,故应用最广。此外,还有肖氏硬度(HS)、维氏硬度(HV)等
63	韧性 toughness	指材料抵抗冲击载荷破坏的能力。常用的冲击韧性值用试样缺口处单位面积所消耗的冲击功来表示
64	疲劳强度 fatigue strength	指材料抵抗有规律性变化应力作用破坏的能力。显然,材料的疲劳强度与应力变化的次数及材料抗拉强度 σ_b 有关
65	加工 processing	为改变原材料、毛坯或半成品的形状、尺寸、成分、性质、位置或表面状态,使之符合规定要求的各种工作的统称
66	热加工 hot-working	泛指铸造、锻造和热处理等工艺,有时也包括焊接。因它加工时常需将工件加热,故名
67	冷加工 cold-working	① 即“金属切削加工”。因金属切削加工时,工件通常不需加热,故名 ② 特指在低于再结晶温度时使金属材料产生塑性变形的一种加工工艺,如冷轧、冷压、冷拉、冷挤压等。冷加工不仅使材料获得所要求的形状,并可使材料强化

(续)

序号	名词术语	含义说明
68	加工余量 process redundancy	指零件在切削加工前所保留的多余材料,即零件在加工前后的尺寸差。这主要由于制成的毛坯不能满足零件的精度要求,因此必须留有余量,以便通过切削加工而获得零件规定的形状、尺寸和表面质量
69	精度 accuracy	指准确的程度。例如,加工精度是指工件加工后的宏观几何形状的准确度,也即加工后所获得的尺寸、表面形状和表面位置与理想的尺寸、表面形状和表面位置的符合程度。工件加工精度的高低,可用国家标准中的精度等级或公差等级来规定
70	公差 tolerance	一般指“尺寸公差”。机械制造中,零件加工后的实际尺寸与理想尺寸不可能完全符合,一批零件的尺寸也不可能完全相同。为了保证零件的互换性,根据不同的精度和配合要求,规定了最大和最小极限尺寸,两者的差值即为该零件的“公差”。毛坯、材料等的尺寸,按规定所允许的上下偏差间的差值,亦称“公差”。除上述尺寸公差外,尚有表面形状公差和表面位置公差等
71	配合 coordination, fit	指两零件装配时,它们结合在一起的松紧情况。可分三类:①动配合,配合件之间有一定的间隙(例如轴比孔小的圆柱体配合);②静配合,配合件之间有一定的过盈(例如轴比孔大的圆柱体配合);③过渡配合,介于前两者之间,可能有间隙或过盈。三类配合又各分若干种,以适合各种不同的设计要求
72	表面粗糙度 surface crudeness	指加工表面上具有的较小间距和峰谷所组成的微观几何形状特性,一般由所采用的加工方法和其它因素形成。表面粗糙度是评定机械零件表面质量的重要指标,与旧国标规定的“表面光洁度”的含义性质相同,但词意相反。表面粗糙度的基本符号为 $\sqrt{\quad}$ (详见GB131-83)

(二) 机械工程常用材料

1. 金属材料的力学性能和工艺性能 如表 JC5-2 所示。

表 JC5-2 金属材料的力学性能和工艺性能

序号	类别	说明
1	金属材料的力学性能	
1.1	强度	指材料在载荷(外力)作用下抵抗变形和破坏的能力(参看表 JC5-1 序号 61)
1.2	塑性	指材料塑性变形(参看表 JC2-1 序号 29)的能力,其指标为伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 。 δ 和 ψ 值越大,说明其塑性越好
1.3	硬度	指材料抵抗其它更硬物体压入其表面的能力(参看表 JC5-1 序号 62)
1.4	韧性	指材料抵抗冲击载荷破坏的能力(参看表 JC5-1 序号 63)
1.5	疲劳强度	指材料抵抗有规律性变化应力作用破坏的能力(参看表 JC5-1 序号 64)
2	金属材料的工艺性能	
2.1	铸造性	指浇注时液态金属的流动性、凝固时的收缩性和偏析倾向等 注:“偏析”是指铸件凝固后各处化学成分的不均匀程度
2.2	锻造性	指材料在压力加工时,能改变形状而不产生裂纹的性能。实质上是材料塑性好坏的表现。钢能承受锻造、轧制、冷拉、挤压等形变加工,表现出良好的锻造性。钢的锻造性与化学成分有关,低碳钢的锻造性好,高碳钢的锻造性不如低碳钢,但一般又优于合金钢。铸铁则没有锻造性

(续)






序号	类别	说明
2.3	焊接性	指材料在通常的焊接方法和焊接工艺条件下,能否获得质量良好的焊缝的性能。在常用的金属材料中,低碳钢具有良好的焊接性,而高碳钢和铸铁的焊接性较差
2.4	切削加工性	指对工件材料进行切削加工的难易程度。金属材料的切削加工性,不仅与材料本身的化学成分、金相组织有关,而且与刀具的几何形状等有关。通常可根据材料的硬度和韧性来对材料的切削加工性作大致的判断。硬度过高或过低以及韧性过大的材料,其切削加工性均较差。碳钢硬度为 150~250HBS 时,具有较好的切削加工性。硬度过高,刀具寿命短,乃至不能切削加工;硬度过低,不易断屑,容易粘刀,加工后表面粗糙。灰铸铁具有良好的切削加工性

2. 常用的金属材料 如表 JC5-3 所示。

表 JC5-3 常用的金属材料

序号	类别	说明									
1	黑色金属 (指钢和铸铁)										
1.1	碳素结构钢 (简称“碳钢”)										
1.1.1	普通碳素结构钢 (简称“普通钢”)	结构	其化学成分要求不甚严格,碳 (C)、锰 (Mn) 等含量可在较大范围内变动,有害杂质磷 (P)、硫 (S) 的含量相对较高 (一般 $w_p \leq 0.045\%$, $w_s \leq 0.055\%$),但其力学性能必须保证								
		牌号	其牌号的表示和含义: <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; gap: 20px;"> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">Q</div> <p>屈服点 代号</p> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;"> </div> <p>屈服点 数值 (MPa)</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>-</p> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;"> </div> <p>质量等 级代号</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>.</p> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;"> </div> <p>脱氧方 法代号</p> </div> </div>								
			质量等级代号	A、B、C、D (依次提高)							
			脱氧方法 代号	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>F</td> <td>b</td> <td>Z</td> <td>TZ</td> </tr> <tr> <td>沸腾钢</td> <td>半沸腾钢</td> <td>镇静钢 (代号可略)</td> <td>半镇静钢 (代号可略)</td> </tr> </table>	F	b	Z	TZ	沸腾钢	半沸腾钢	镇静钢 (代号可略)
		F	b	Z	TZ						
沸腾钢	半沸腾钢	镇静钢 (代号可略)	半镇静钢 (代号可略)								
例:“Q235-A.F”表示屈服点数值为 235MPa 的 A 级沸腾钢											
应用	Q195、Q215-A、 Q215-B	主要用于薄板、焊接钢管、铁丝、铁钉等									
	Q235-A、 Q235-B、 Q235-C、 Q235-D	一般用作建筑材料如薄板、钢筋、钢管、铆钉等及不重要的机械结构材料如外壳、小轴、螺栓等									
	Q255-A、 Q255-B、 Q275	主要用于制造要求强度较高的某些零件,如拉杆、连杆、轴、键、销钉等									

(续)

序号	类别	说明									
1.1.2	优质碳素结构钢 (简称“优质钢”)	<p>结构类型</p> <p>它既要保证力学性能,又要保证化学成分,其中硫(S)、磷(P)含量较少,一般其w不大于0.035%。按含碳量(C)多少又分:①低碳钢($w_c \leq 0.25\%$),其强度较低,而塑性、韧性好,易于冲压加工;②中碳钢($w_c = 0.30\% \sim 0.55\%$),其强度较高,塑性和韧性也较好,一般需热处理后使用;③高碳钢($w_c \geq 0.60\%$),经热处理后具有高强度和良好的弹性,但切削加工性和焊接性差</p>									
		<p>牌号</p> <p>其牌号的表示和含义:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>碳的平均质量分数 (万分数,两位数字)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>附加符号</p> </div> </div>									
		<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 15%;">附加符号</td> <td style="width: 10%;">A</td> <td>高级优质钢</td> </tr> <tr> <td></td> <td>F</td> <td>沸腾钢</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Mn</td> <td>含锰量较高</td> </tr> </table>	附加符号	A	高级优质钢		F	沸腾钢		Mn	含锰量较高
		附加符号	A	高级优质钢							
			F	沸腾钢							
			Mn	含锰量较高							
例:“45钢”,表示平均含碳量 w_c 为0.45%											
应用	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 15%;">低碳钢</td> <td>主要用来制造螺钉、螺母、冷冲压件、焊接件、仪表外壳等</td> </tr> <tr> <td>中碳钢</td> <td>主要用来制造主轴、曲轴、齿轮、丝杠、连杆等</td> </tr> <tr> <td>高碳钢</td> <td>主要用来制造钢丝绳、弹簧、其它弹性零件及易磨损零件</td> </tr> </table>	低碳钢	主要用来制造螺钉、螺母、冷冲压件、焊接件、仪表外壳等	中碳钢	主要用来制造主轴、曲轴、齿轮、丝杠、连杆等	高碳钢	主要用来制造钢丝绳、弹簧、其它弹性零件及易磨损零件				
低碳钢	主要用来制造螺钉、螺母、冷冲压件、焊接件、仪表外壳等										
中碳钢	主要用来制造主轴、曲轴、齿轮、丝杠、连杆等										
高碳钢	主要用来制造钢丝绳、弹簧、其它弹性零件及易磨损零件										
1.1.3	碳素工具钢	<p>结构类型</p> <p>通常含碳量$w_c = 0.65\% \sim 1.35\%$的高碳钢,既要保证其化学成分,又要符合规定的硬度要求。它分普通碳素工具钢和高级优质碳素工具钢两种</p>									
		<p>牌号</p> <p>其牌号的表示和含义:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>碳素工具 钢代号</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>碳的平均质量分数 (千分数)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>附加符号</p> </div> </div>									
		<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 15%;">附加符号</td> <td style="width: 10%;">A</td> <td>高级优质钢</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Mn</td> <td>含锰量较高</td> </tr> </table>	附加符号	A	高级优质钢		Mn	含锰量较高			
		附加符号	A	高级优质钢							
			Mn	含锰量较高							
		例:“T10A”,表示平均含碳量 w_c 为1%的高级优质碳素工具钢 “T8Mn”,表示平均含碳量 w_c 为0.8%、且含锰量较高的碳素工具钢									
应用	<p>主要用来制造刀具、量具、模具及要求耐磨的机器零件</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">T7、T7A、T8、T8A、T8Mn、T8MnA</td> <td>用来制造韧性要求较高、能承受冲击载荷作用的工具,如小型冲头、凿子、锤子、木工工具等</td> </tr> <tr> <td>T9、T9A、T10、T10A、T11、T11A</td> <td>用来制造要求中等韧性的工具,如钻头、丝锥、车刀、冲模、拉丝模、锯条及量规、塞规、样板等量具</td> </tr> <tr> <td>T12、T12A T13、T13A</td> <td>用来制造不受冲击载荷作用的工具,如量规、塞规、样板等量具及锉刀、刮刀、精车刀等刀具</td> </tr> </table>	T7、T7A、T8、T8A、T8Mn、T8MnA	用来制造韧性要求较高、能承受冲击载荷作用的工具,如小型冲头、凿子、锤子、木工工具等	T9、T9A、T10、T10A、T11、T11A	用来制造要求中等韧性的工具,如钻头、丝锥、车刀、冲模、拉丝模、锯条及量规、塞规、样板等量具	T12、T12A T13、T13A	用来制造不受冲击载荷作用的工具,如量规、塞规、样板等量具及锉刀、刮刀、精车刀等刀具				
T7、T7A、T8、T8A、T8Mn、T8MnA	用来制造韧性要求较高、能承受冲击载荷作用的工具,如小型冲头、凿子、锤子、木工工具等										
T9、T9A、T10、T10A、T11、T11A	用来制造要求中等韧性的工具,如钻头、丝锥、车刀、冲模、拉丝模、锯条及量规、塞规、样板等量具										
T12、T12A T13、T13A	用来制造不受冲击载荷作用的工具,如量规、塞规、样板等量具及锉刀、刮刀、精车刀等刀具										

(续)

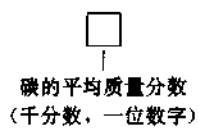
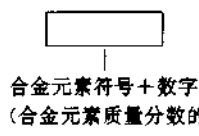
序号	类别	说明			
1.1.4	易切削结构钢	结构	通常含碳量 $w_c=0.08\% \sim 0.50\%$ 的中低碳钢, 有一定的化学成分要求和热轧状态的力学性能要求		
		牌号	其牌号的表示和含义:		
			<p>易切削钢代号 碳的平均质量分数 (万分数, 两位数字) 附加符号</p>		
		附加符号	Mn 含锰量较高	Pb 含有铅	Ca 含有钙
应用	主要用在自动机床上加工大批量生产的零件如螺钉、螺母等标准件和自行车、缝纫机、打字机等的小零件。要求切削加工性特别好时, 可选用含硫量较高的 Y15; 要求焊接性能好时, 可选用含硫量较低的 Y12; 要求强度较高时, 可选用含碳量较高的 Y20 或 Y30; 如果要求更高强度时, 则可选用 Y40Mn。采用含铅或含钙的易切削钢, 是为了减轻对刀具的磨损				
1.1.5	铸钢	结构	指用于浇注成铸件的钢, 是经过充分精炼和脱氧的优质钢, 按其化学成分可分为铸造碳钢和铸造合金钢, 其中铸造碳钢占铸钢总产量 80% 以上, 应用最广。铸钢的强度高于铸铁, 同时具有良好的塑性和韧性, 适于制造形状复杂而强度和韧性要求高的机器零件。它的含碳量 $w_c=0.22\% \sim 0.45\%$, 主要为中碳钢		
		牌号	其牌号的表示和含义 (适于碳素铸钢):		
			<p>铸钢代号 屈服点 (MPa) (3位数字) 抗拉强度 (MPa) (3位数字)</p>		
		应用	ZG230-450	用于受力不大但要求韧性高的零件如砧座、外壳、阀体等	
		ZG270-500	应用最广, 如轧钢机架、轴座、连杆、箱体、缸体、曲拐等		
		ZG310-570	用于受载荷较高的耐磨件, 如缸体、制动轮、大齿轮、机架等		
		ZG340-640	用于齿轮、棘轮、联结器等		
1.2	合金钢 (碳素钢中加入适量合金元素)				
1.2.1	合金结构钢	类型	它是用于制造各类工程结构件和各种机器零件的钢, 为合金钢中用途最广、用量最大的一类钢。它主要包括普通低合金结构钢、合金渗碳钢、合金调质钢、合金弹簧钢和滚动轴承钢		

111
111
111

(续)

序号	类别	说明
1.2.1	合金结构钢	<p>其牌号的表示和含义:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> <p>碳的平均质量分数 (万分数, 两位数字)</p> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> <p>合金元素符号+数字 (合金元素质量分数的近似百分数)</p> </div> </div> <p>合金元素平均质量分数 $w < 1.5\%$ 时, 标 1 或不标; $w \geq 1.5\%$, 标 2; $w \geq 2.5\%$, 标 3; 依此类推</p> <p>例: “30SiMn2MoV”, 其成分为 $w_C = 0.26\% \sim 0.33\%$, $w_{Mn} = 1.6\% \sim 1.8\%$, 硅 Si、钼 Mo、钒 V 的质量分数均低小 1.5%</p>
		<p>其化学成分特点是低碳 (一般 $w_C \leq 0.20\%$), 合金元素含量也较小 (总含量 $w < 3\%$). 所含合金元素主要为锰 (Mn)、钛 (Ti)、钒 (V)、铌 (Nb)、铜 (Cu)、磷 (P)、铌 (Re) 等。其中 Mn 是主要合金元素, 含量 $w_{Mn} = 0.8\% \sim 1.8\%$, 它能提高钢的强度。少量 Ti、V、Nb, 能提高钢的韧性。加入少量 Cu、P 能提高钢的抗蚀性。加入 Re 能净化钢水, 改善钢的韧性。这类合金钢在性能方面明显地优于相同含碳量的普通低碳钢, 从而可取代普通碳钢, 减小结构自重, 节约钢材, 并经久耐用。我国南京长江大桥采用 16Mn 合金钢建造, 比采用普通碳钢建造, 节约了 15% 的钢材</p>
		<p>其化学成分特点是含碳量低 ($w_C = 0.1\% \sim 0.25\%$), 合金元素含量也较小 (总含量 $w \leq 3\%$). 所含合金元素有铬 (Cr)、锰 (Mn)、硼 (B)、钛 (Ti)、钒 (V)、钼 (Mo) 等。加入 Cr、Mn、B 能提高钢的强度, 加入 Ti、V、Mo 可增强钢的韧性。合金渗碳钢主要用于要求心部也具有较高强度的渗碳零件, 如齿轮、蜗杆、轴等</p>
		<p>它是经调质处理后使用的 $w_C = 0.3\% \sim 0.5\%$ 的中碳合金结构钢。加入的合金元素主要有铬 (Cr)、锰 (Mn)、硅 (Si)、镍 (Ni)、硼 (B) 等, 用以提高淬透性, 强化铁素体。加入少量的钼 (Mo)、钨 (W)、钒 (V) 等合金元素, 可细化晶粒, 提高韧性。合金调质钢主要用于制造一些受力较复杂、要求具有良好综合力学性能的重要零件, 如重要的轴类件、螺栓、阀门等</p>
		<p>它是 $w_C = 0.5\% \sim 0.7\%$ 的高碳合金钢。加入的合金元素主要有锰 (Mn)、硅 (Si)、铬 (Cr)、钒 (V)、硼 (B) 等, 用以提高淬透性和弹性极限。合金弹簧钢主要用于制造各种弹簧</p>
		<p>它是“高碳低铬”钢, $w_C = 0.95\% \sim 1.1\%$, $w_{Cr} = 0.4\% \sim 1.65\%$。高碳保证钢的高硬度、耐磨性, 而低铬增加钢的淬透性。此外, 加入适量的锰 (Mn)、硅 (Si) 等, 可使淬透性进一步提高。滚动轴承钢主要用于制造滚珠、滚柱、轴承</p>
		1.2.2	合金工具钢	它是一种制造刀具、量具和模具的钢种。与碳素工具钢 (本表序号 1.1.3) 相比, 它不仅具有更高的硬度和耐磨性, 还具有更高的热硬性、淬透性及热处理变形小等特点。它又分合金刀具钢、合金量具钢和合金模具钢三类

(续)

序号	类别	说明
1.2.2	合金工具钢	<p>其牌号的表示和含义:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>碳的平均质量分数 (千分数, 一位数字)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>合金元素符号+数字 (合金元素质量分数的近似百分数)</p> </div> </div> <p>平均含碳量 $w_c \geq 1\%$ 时, 牌号中不标数字</p>
		<p>合金刀具钢要具有高硬度 (60HRC 以上)、高耐磨性、高的热硬性及足够的强度和韧性</p> <p>所谓“热硬性”, 是指刀刃在高温下 (500℃ 以上) 能保持高硬度 (60HRC 以上) 的性能, 与钢的回火稳定性有关</p> <p>它又分①低合金刀具钢: 指在碳素工具钢基础上加入某些合金元素的钢, 其含碳量一般 $w_c = 0.75\% \sim 1.5\%$, 合金元素总质量分数小于 5%。常用的合金元素主要是铬 (Cr)、硅 (Si)、锰 (Mn), 用以提高钢的淬透性和强度。加入钨 (W)、钒 (V), 可形成碳化物, 提高其硬度、耐磨性和热硬性, 改善韧性。低合金刀具钢主要用于制造低速切削刀具。②高速钢: 又称“锋钢”, 是一种含多种合金元素的高碳高合金工具钢。合金元素主要是钨 (W)、铬 (Cr)、钼 (Mo)、钒 (V) 等。它具有比其它刀具钢更高的热硬性、耐磨性、高强度和韧性, 不仅可制作高速切削刀具, 还可用来制作冷冲模、冷挤模及其它要求耐磨的零件。但高速钢价贵, 应注意节约</p>
		<p>合金量具钢经热处理后具有高硬度及耐磨性, 变形小, 在使用过程中尺寸稳定。常用的有 CrMn 钢、CrWMn 钢等。主要用来制造形状复杂和高精度的量具如块规等</p>
		<p>模具钢主要用来制造锻造、冲压、压铸等模具。按其工作条件不同, 它又分热作模具钢和冷作模具钢两类。①热作模具钢: 要求在高温下 (400~600℃) 仍能保持高的强度、韧性和良好的耐磨性。它一般是 $w_c = 0.45\% \sim 0.60\%$ 的中碳合金钢, 常用的有 5CrMnMo、5CrNiMo、3Cr2W8V 等。②冷作模具钢: 要求具有 50~60HRC 的高硬度、耐磨性和一定的韧性, 热处理变形小。形状复杂或要求淬火变形小时, 可用 CrWMn、9Mn2V、9SiCr 或 GCr15 来制作。对尺寸大或耐磨性要求很高的模具, 则常用 Cr12、Cr12MoV 等高合金钢来制作</p>
1.2.3	特殊性能钢	<p>类型</p> <p>它含有较多的合金元素, 并具有某些特殊的物理、化学性能。常用的有不锈钢、耐热钢、耐磨钢、软磁钢等</p>
		<p>不锈钢</p> <p>主要合金元素是铬 (Cr) 和镍 (Ni)。一般含铬量 w_c 不低于 12% 才具有良好的耐蚀不锈钢性能。常用的不锈钢有 1Cr13、2Cr13、3Cr13、1Cr18Ni9、1Cr18Ni9Ti 等</p>
		<p>耐热钢</p> <p>钢中含有较多的铬 (Cr) 和硅 (Si)。主要用于制作高温条件下工作的零件。常用的耐热钢有 1Cr13Si13、4Cr10Si2Mo、1Cr17Al4Si 等</p>

(续)

序号	类别		说明
1.2.3	特殊性能钢	耐磨钢	钢中含碳量 $w_C=1.0\% \sim 1.5\%$, 含锰量 $w_{Mn}=11\% \sim 14\%$ 。它机械加工困难, 大多采用铸造成型, 用于制作坦克和拖拉机履带、球磨机筒体衬板等
		软磁钢	钢中加入适量硅 (Si), 并轧制成薄片材料, 其杂质含量极少, 具有很好的导磁性。硅钢片是制造电机、电器、电表不可缺少的材料
1.3	铸铁 (含碳量 $w_C > 2\%$ 的铁碳合金, 亦称“生铁”)		
1.3.1	铸铁的两类形式	白口铸铁	碳在这类铸铁中仅有少量溶于铁素体中, 其余均以化合物 Fe_3C 的形式存在。因其断口呈亮白色, 故名。其性硬而脆, 很难切削加工。除少量用于制作表面要求高硬度和耐磨的零件如轧机中的轧辊、农具中的犁铧等外, 白口铸铁主要用来冶炼成钢, 或作为生产可锻铸铁的毛坯
		灰铸铁	碳在这类铸铁中也仅有少量溶于铁素体中, 但其余的碳几乎全部以游离的石墨状态存在于铸铁中。因其断口呈灰色, 故名。灰铸铁根据其中石墨存在的形态不同, 又分: ①普通灰铸铁, 石墨呈片状; ②可锻铸铁, 石墨呈团絮状; ③球墨铸铁, 石墨呈球状
1.3.2	普通灰铸铁	性能及应用	普通灰铸铁 (简称“灰铸铁”) 中的石墨以片状存在。其性软而脆, 但具有良好的铸造性、耐磨性、减振性和切削加工性。常用于受力不大、冲击载荷小、需要减振或耐磨的各种零件, 如机床床身、机座、箱壳、阀体等
		牌号	<p>其牌号的表示和含义:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">HT</div> <div style="margin-top: 5px;">|</div> <div style="margin-top: 5px;">灰铸铁 的代号</div> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> <div style="margin-top: 5px;">|</div> <div style="margin-top: 5px;">最低抗拉强度 (MPa) (三位数字)</div> </div> </div> <p>例: “HT200”, 表示是最低抗拉强度为 200MPa 的灰铸铁</p>
1.3.3	可锻铸铁	性能及应用	可锻铸铁中的碳以团絮状石墨的形态存在。它是由白口铸铁经长期高温退火而得。它具有较高的力学性能, 特别是其塑性、韧性, 较之灰铸铁有明显提高, 特别是其一种“珠光体可锻铸铁”的强度可与铸钢媲美。但是它不能锻造成形。通常它用来铸造汽车、拖拉机的薄壳零件、低压阀门及各种管接头等
		牌号	<p>其牌号的表示和含义:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">KT</div> <div style="margin-top: 5px;">|</div> <div style="margin-top: 5px;">可锻铸 铁代号</div> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> <div style="margin-top: 5px;">|</div> <div style="margin-top: 5px;">最低抗拉强度 (MPa) (三位数字)</div> </div> <div style="text-align: center;">-</div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> <div style="margin-top: 5px;">|</div> <div style="margin-top: 5px;">最低伸长率 (%) (两位数字)</div> </div> </div> <p>为区分可锻铸铁的类别, 可以“KTH”表示“黑心可锻铸铁”, 以“KTZ”表示“珠光体可锻铸铁”, 以“KTB”表示“白心可锻铸铁”。</p> <p>例: “KTZ650-02”, 表示是最低抗拉强度为 650MPa、最低伸长率为 2% 的珠光体可锻铸铁</p>

(续)

序号	类别	说明	
1.3.4	球墨铸铁	性能及应用	球墨铸铁中的碳是因在浇注前的铁水中加入了一定量的球化剂(如纯镁或稀土镁合金等)和墨化剂(如硅铁或硅钙合金)而转变为球状石墨的。球墨铸铁具有较高的力学性能,其抗拉强度甚至高于碳钢,而且铸造工艺简便,成本较低,因此广泛应用于机械、冶金等工业部门,常用来制造汽缸套、曲轴、活塞等零件
		牌号	<p>其牌号的表示和含义:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">QT</div> <p>球墨铸铁代号</p> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> <p>最低抗拉强度(MPa) (三位数字)</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>-</p> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> <p>最低伸长率(%) (两位数字)</p> </div> </div>
1.3.5	合金铸铁	性能及应用	在一般铸铁中加些合金元素,使铸铁获得高强度或耐磨、耐热等特殊性能,这类铸铁称为“合金铸铁”。它与合金钢相比,具有成本低、易熔炼等优点,从而使铸铁的应用范围进一步扩大,成功地取代了一些合金钢来制造零件
		高强度合金铸铁	在稀土镁球墨铸铁中加入少量的铜(Cu)、钼(Mo)等合金元素,即可获得应用最多的高强度合金铸铁如稀土镁铜钼系合金铸铁和稀土镁钼系合金铸铁
		耐磨合金铸铁	在珠光体灰铸铁中加入磷(P)、铜(Cu)、铬(Cr)、钼(Mo)、钒(V)、钛(Ti)、铈(Re)等合金元素,即可获得耐磨合金铸铁如高磷铸铁、磷铜钒铸铁、铬钼铜铸铁、钒钒铸铁、中磷稀土铸铁等
		耐热合金铸铁	在铸铁中加入铝(Al)、硅(Si)、铬(Cr)等合金元素,即可获得各种耐热合金铸铁
		耐蚀合金铸铁	在铸铁中加入铬(Cr)、钼(Mo)、铜(Cu)、镍(Ni)、硅(Si)等合金元素,即可获得各种耐蚀铸铁
2	有色金属材料及其它		
2.1	铜及铜合金		
2.1.1	纯铜	性能及应用	纯铜又称“紫铜”,其导电性和导热性很好,仅次于银;抗磁性也好,是抗磁性材料;塑性好,但强度较低。工业纯铜主要用作导电材料(参看表JC3-5序号1)
		牌号	<p>工业纯铜的牌号有三:</p> <p>①T1——含Cu 99.95% (指质量分数)</p> <p>②T2——含Cu 99.90% (指质量分数)</p> <p>③T3——含Cu 99.70% (指质量分数)</p>

(续)

序号	类别	说明
2.1.2	黄铜	<p>性能及应用</p> <p>以铜和锌为主组成的合金, 统称为“黄铜”, 其强度、硬度和塑性随含锌量增加而增强。含锌量 $w_{Zn}=30\% \sim 32\%$ 时, 塑性达最大值。含锌量 $w_{Zn}=40\%$ 时, 强度最高</p> <p>在上述黄铜内, 再加入少量其它元素的铜合金, 称为“特殊黄铜”, 如铝黄铜、锰黄铜、锡黄铜、铅黄铜等。特殊黄铜具有更高的强度、耐腐蚀性和耐磨性</p> <p>黄铜一般用于制造耐腐蚀和耐磨的零件, 如螺钉、螺母、垫圈、散热器、阀门、管件等</p> <p>牌号</p> <p>①普通黄铜的牌号表示和含义:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">H</div> <p>黄铜 代号</p> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> <p>铜的质量分数(%) (两位数字)</p> </div> </div> <p>例: “H65”, 表示含铜 (w_{Cu}) 65%、含锌 (w_{Zn}) 35% 的黄铜</p> <p>②特殊黄铜的牌号表示和含义:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">H</div> <p>黄铜 代号</p> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> <p>除锌外的 主要合金 元素符号</p> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> <p>铜的质量分数 (%) (两位数字)</p> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> <p>除锌外的主 要合金的质 量分数(%)</p> </div> </div> <p>例: “HSn90-1”, 表示含铜 (w_{Cu}) 90%、含锡 (w_{Sn}) 1%、其余为锌的锡黄铜</p>
2.1.3	青铜	<p>性能及应用</p> <p>铜与锡组成的合金, 称为“锡青铜”。锡青铜有良好的力学性能、铸造性能、耐腐蚀性和减摩性, 主要用于摩擦零件和耐蚀零件的制造, 如蜗轮、轴瓦等以及在水、水蒸气和油中工作的零件</p> <p>除锡以外的其它合金元素与铜组成的合金, 统称为“无锡青铜”。主要有铝青铜、铍青铜、铅青铜、硅青铜等, 通常作为锡青铜的廉价代用材料使用</p> <p>牌号</p> <p>青铜按其制造方法分压力加工青铜和铸造青铜两种</p> <p>①压力加工青铜的牌号表示和含义:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">Q</div> <p>青铜 代号</p> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> <p>主要合金 元素符号</p> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> <p>主要合金元素 质量分数(%)</p> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> <p>其它合金元素 质量分数(%)</p> </div> </div> <p>例: “QSn4-3”, 表示主合金元素为锡, w_{Sn} 为 4%, 含锌 (w_{Zn}) 3% 的锡青铜。 “QAl9-4”, 表示主合金元素为铝, w_{Al} 为 9%, 其它合金元素 (含铁、锌) 质量分数约 4% 的铝青铜</p> <p>②铸造青铜的牌号表示和含义:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">ZCu</div> <p>铸造青 铜代号</p> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> <p>合金元素 符号</p> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> <p>合金元素 质量分数(%)</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>.....</p> </div> </div> <p>例: “ZCuSn5Pb5Zn5”, 表示含锡 (w_{Sn}) 5%、含铅 (w_{Pb}) 5%、含锌 (w_{Zn}) 5% 的铸造锡青铜 (5-5-5 锡青铜)</p>

(续)

序号	类别	说明	
2.2	铝及铝合金		
2.2.1	纯铝	性能及应用	纯铝的导电性和导热性良好,仅次于金、银、铜;塑性好,密度小,但强度和硬度低;抗蚀性能良好,在空气中其表面生成致密的 Al_2O_3 保护薄膜,阻止其继续向内部氧化。它主要用作导电材料和耐蚀零件(参看表JC3-5序号2)
		牌号	①工业高纯铝的牌号LG1~LG5,含铝 $w_{Al}=99.85\% \sim 99.99\%$; ②工业纯铝的牌号L1~L6,含铝 $w_{Al}=98.8\% \sim 99.7\%$
2.2.2	形变铝合金	结构类型	形变铝合金是在纯铝中加入某些合金元素,通过熔炼浇注成锭,然后经热态或冷态压力加工成各种铝材。形变铝合金按其性能特点分为防锈铝、硬铝、超硬铝和锻铝
		防锈铝	为Al-Mn和Al-Mg合金,代号为LF□(序号),其抗蚀性能好,压力加工性和焊接性也好,但强度低,主要用作油箱、油管、焊条、铆钉及中载或轻载零件和制品
		硬铝	为Al-Cu-Mg合金,代号为LY□(序号),其力学性能好,但抗蚀性差,主要用作中等或高强度零件如骨架、肋、梁、螺栓、铆钉等,在电力系统中广泛用作母线、导线材料
		超硬铝	为Al-Cu-Mg-Zn合金,代号为LC□(序号),其强度相当高,但抗蚀性差,主要用作结构中的受力件如飞机大梁、桁架、加强框、起落架等
		锻铝	为Al-Mg-Si ₂ -Cu和Al-Cu-Mg-Fe-Ni合金,代号为LD□(序号),其力学性能和锻造性能好,主要用作形状复杂及承受重载荷的锻件和模锻件
2.2.3	铸造铝合金	结构类型	铸造铝合金是用于浇注成铸件的铝合金,合金元素总质量分数约为8%~25%,高于形变铝合金的合金元素含量。常用的铸造铝合金有铝硅合金、铝铜合金、铝镁合金和铝锌合金
		铝硅合金	有ZAlSi12(代号ZL102)、ZAlSi9Mg(代号ZL104)、ZAlSi5Cu1Mg(代号ZL105)、ZAlSi7Cu4(代号ZL107)、ZAlSi2Cu1Mg1Ni1(代号ZL109)、ZAlSi9Cu2Mg(代号111)等牌号,其抗蚀性、耐热性和铸造性能均好,密度也小,但强度低,不过含有Cu、Mg、Mn、Ni的铝硅合金,其强度有显著提高。可用来铸造形状复杂及在较高温度下工作的零件
		铝铜合金	有ZAlCu5Mn(代号ZL201)、ZAlCu10(代号202)、ZAlCu4(代号ZL203)等牌号,其耐热性更好。可用来铸造高温下工作的零件如内燃机汽缸头、活塞等
		铝镁合金	有ZAlMg10(代号ZL301)、ZAlMg5Si1(代号ZL303)等牌号,其耐蚀性更好。可用来铸造大气或海水中工作的零件,以及承受冲击载荷、外形不太复杂的零件,如船舶配件、氨用泵体等
		铝锌合金	有ZAlZn11Si7(代号ZL401)和ZAlZn6Mg(代号ZL402)等牌号,其力学和化学性能均好,可用来铸造结构形状复杂的汽车、飞机、仪器的零件以及日用品

(续)

序号	类别	说明
2.3	轴承合金	
2.3.1	轴承合金结构类型	<p>轴承合金是用来制造轴瓦及其内衬的合金。轴承材料必须具有足够的强度、塑性和韧性,适当的硬度,良好的减摩性、磨合性、耐蚀性和导热性等。轴承合金为具备上述性能要求,因此其组织应由软基体及分布其中的一定数量的硬质点共同组成,当然也可以由硬基体及分布其中的一定数量的软质点共同组成。常用的滑动轴承合金有锡基、铅基、铝基、铜基、铁基等多种类型。前两种(均含锡)统称“巴氏合金”</p>
2.3.2	轴承合金的牌号	<p>其牌号的表示和含义:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">ZCh</div> <div style="margin-top: 5px;">↓</div> 轴承合金代号 </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> <div style="margin-top: 5px;">↓</div> 基体元素符号 </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> <div style="margin-top: 5px;">↓</div> 主加元素符号 </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> <div style="margin-top: 5px;">↓</div> 主加元素平均质量分数 (%) </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> <div style="margin-top: 5px;">↓</div> 辅加元素平均质量分数 (%) </div> </div> <p>例:“ZChSnSb8-4”,表示是含锡 $w_{Sn}8\%$、并含铜 ($w_{Cu}=4\%$) 的锡基轴承合金</p>
2.4	粉末冶金材料	
2.4.1	粉末冶金的特点	<p>粉末冶金是采用金属粉末或金属粉末中掺入部分非金属粉末作原料,经压制成形、烧结和后处理等工序制成金属制品或金属材料的一种冶金工艺</p> <p>粉末冶金可以制成具有某些特殊成分和特殊性能的材料和制品,例如:①制成彼此不能熔合,且密度、熔点相差悬殊的合金,如铜钨电触头材料;②制成不能构成合金的金属与非金属的复合材料,如用铁、氧化铝、石棉粉末制成的摩擦材料;③制成难熔合金,如钨钼合金;④制成特殊硬质合金;⑤制成金属陶瓷;⑥可直接制出尺寸准确、表面光洁的零件,节省切削加工工时和机械加工设备,显著降低成本</p>
2.4.2	粉末冶金的应用	<p>①零件:可制成铁基或铜基合金的含油轴承;铁基合金的齿轮、凸轮、滚轮、模具;在铜基或铁基合金中加入石墨、二硫化钨、氧化硅、石棉粉末制成的摩擦离合器、刹车片等</p> <p>②工具:可制成硬质合金刀具、模具和量具;金属陶瓷刀具;用人造金刚石和合金粉末制成金刚石工具等</p> <p>③其它:还可制成一些具有特殊性能的元件,如铁镍钴永久磁铁、铜钨或银钨电触头及一些耐极高温的火箭零件等</p>
2.4.3	粉末冶金材料	<p>粉末冶金轴承材料</p> <p>①多孔含油轴承:常用的含油轴承有铁石墨(含铁粉98%、石墨2%,均指质量分数)和铜石墨(含锡基青铜合金粉末99%、石墨1%,均指质量分数)两大类。含油轴承中含有20%~30%的孔隙,可以储存润滑油,表面光洁,具有减摩性好、寿命长、成本低、效率高等优点</p> <p>②金属塑料减摩材料:它是在镀铜的钢带上烧结一层0.25~0.35mm厚的多孔球形锡青铜,再浸渍聚四氟乙烯和铅的混合物而制得的复合式金属塑料轴承材料。其特点是不用润滑油而在干摩擦条件下工作,且能适应高寒、高温、低温、振动和冲击等工作条件,还能在真空、水或其它液体中工作,尤其适用于严禁油类污染的条件下工作,不需维护,安全可靠</p>

(续)

序号	类别	说明
2.4.3	粉末冶金材料	<p>硬质合金</p> <p>以碳化钨 (WC) 和碳化钛 (TiC) 等高熔点、高硬度的碳化物为主体, 加入钴 (Co) 作为粘结剂, 利用粉末冶金方法即可制成硬质合金。其突出特点是硬度高 (可达 80HRC), 热硬性高 (温度可达 900℃ 以上), 耐磨性好。硬质合金刀具的切削速度可比高速钢刀具高 4~7 倍, 寿命提高 5~8 倍。硬质合金的抗压强度高, 但抗弯强度低、韧性差。硬质合金还具有很好的抗蚀性能</p> <p>常用的硬质合金有钨钴类、钨钴钛类及通用类三类</p> <p>①钨钴类硬质合金: 以碳化钨 (WC) 为主体、钴 (Co) 为粘结剂制成。其牌号为 YG□ (数字, Co 的质量分数)。例, “YG6”, 表示含 Co (w_{Co}) 6%、余量为 WC 的钨钴硬质合金</p> <p>②钨钴钛类硬质合金: 以碳化钨 (WC)、碳化钛 (TiC) 为主体、钴 (Co) 为粘结剂制成。其牌号为 YT□ (数字, TiC 的质量分数)。例, “YT15”, 表示含 TiC $w=15\%$、余量为 WC 和 Co 的钨钴钛硬质合金</p> <p>③通用类硬质合金: 又称“万能硬质合金”。它是在钨钴钛类硬质合金中加入一部分碳化钽 (TaC) 或碳化铌 (NbC), 取代一部分碳化钛 (TiC), 以提高其抗弯强度。其牌号有 YW1、YW2 等</p> <p>为提高硬质合金的韧性, 改善其切削加工性, 近年出现一种新型的“钢结硬质合金”。它以碳化钨 (WC)、碳化钛 (TiC)、碳化钒 (VC) 等为硬骨架, 以合金钢粉末 (高速钢或铬钢, $w=50\% \sim 65\%$) 为粘结剂制成。它具有与钢一样的切削加工性、锻造性、焊接性。经淬火和低温回火后, 其硬度可达 70HRC, 且具有高耐磨性、抗氧化及耐蚀等优点, 适于制造各种形状复杂的刃具, 如麻花钻、铣刀等, 也适于制造在较高温度下使用的模具及耐磨零件</p>

3. 常用的非金属材料 如表 JC5-4 所示。

表 JC5-4 常用的非金属材料

序号	类别	说明
1	工程塑料	
1.1	性能特点	<p>工程塑料是指主要用在工程技术中作结构材料的塑料。其特点是: 机械强度高、质轻、绝缘、减摩、耐磨、消音、吸振、价廉、美观, 或具备耐热、耐蚀等特殊性能, 是一种应用越来越广的良好的工程材料。塑料可分热塑性和热固性两大类</p>
1.2	热塑性塑料	<p>结构特点</p> <p>热塑性塑料受热后会软化和熔融, 成为可流动的粘稠液体, 冷却后则成形固化, 保持已得到的形状。如再次受热, 又可重新软化和熔融, 冷却后又固化。受热和冷却过程中, 塑料仅发生物理变化, 其化学结构基本不变</p>
		<p>常用类型</p> <p>①聚酰胺: 通称“尼龙”或“锦纶”, 代号为 PA。尼龙具有较高强度和韧性, 耐疲劳, 耐油, 摩擦系数小, 并有自润滑性。但尼龙的吸水性较强, 影响尺寸的稳定性。主要用作一些机器零件、减摩耐磨传动件, 如轴承、齿轮等</p> <p>②聚甲基丙烯酸甲酯: 通称“有机玻璃”, 代号 PMMA。其密度小 (为普通玻璃的 1/2), 透光性好 (透光率为 92%, 比普通玻璃的透光率高), 且具有较高的强度和韧性, 不易破裂, 易于加工。但其硬度低, 耐磨性差, 易划伤, 耐热性差, 80℃ 即软化。主要用作透明件和装饰件, 如飞机座舱盖、仪表外罩、照明灯罩、光学镜片、防弹玻璃等</p>

(续)

序号	类别		说明
1.2	热塑性塑料	常用类型	<p>③聚四氟乙烯：又称“特氟隆”，代号 F-4。其突出特点是具有优异的耐化学腐蚀性，各种强酸、强碱和强氧化剂对它均无腐蚀作用，因此它有“塑料王”之称。它还具有突出的耐高温和耐低温的性能，在 -195~+250℃ 范围内使用时，其力学性能几乎没有变化。其摩擦系数极小，并有自润滑性。它吸水性小，在极潮湿条件下仍具有良好的绝缘性能。其缺点是其加工成形性差，加热后粘度大，只能采用预压、烧结的方法成形。此外，当温度高于 390℃ 时，将分解出剧毒气体，因此必须严格控制其加工成形的温度。它的硬度低，强度也较低，价格高。主要用于制作减摩密封件、化工机械中的耐腐蚀件及在高频或潮湿条件下的绝缘材料</p>
1.3	热固性塑料	结构特点	<p>热固性塑料受热后软化，冷却成形固化后，如再次受热，不会软化变形。它的变化全过程，不仅有物理变化（塑化），而且有化学变化（固化），变化前后的性能完全不同</p>
		常用类型	<p>①酚醛塑料：俗称“电木”，代号为 PF。它是以酚醛树脂为基体，加入木屑、纸、布、玻璃纤维布、石棉等填料经固化处理而形成热固性塑料。它具有强度高和硬度高的特点。用玻璃纤维布增强的层压酚醛塑料的强度，可与金属媲美，被称为“玻璃钢”。酚醛塑料还具有高的耐热性、耐磨性、耐蚀性和良好的绝缘性能，在机制工业和电力工业中得到广泛应用，如制作齿轮、滑轮及电器开关外壳、绝缘元件等</p> <p>②环氧塑料：代号为 EP。其强度高，耐热性、耐蚀性、绝缘性及加工成形性均好，但价格较贵。主要用于制作模具、精密量具及电工、电子电器的重要绝缘部件等</p>
2	橡胶		
2.1	性能特点		<p>橡胶是以生胶为主，加入适量的增塑剂、硫化剂、防老化剂及其它填料所组成的高分子弹性材料。其突出特点是具有高弹性，受力后会产生很大的弹性变形。此外，还具有耐磨性、绝缘性等性能。但在温度上升后有逐渐软化发粘的缺点。经硫化后的橡胶可以克服这一不足之处，并可提高其力学性能。橡胶可分通用橡胶和特种橡胶两大类</p>
2.2	通用橡胶	类型	<p>广泛用于制造轮胎、工业用品和日用品，包括天然橡胶和合成橡胶两大类。合成橡胶品种甚多，常用的有丁苯、氯丁橡胶等</p>
		丁苯橡胶	<p>主要有丁苯-10、丁苯-30、丁苯-50。具有良好的耐热性、耐磨性、绝缘性、耐油和抗老化性，价格低廉，是天然橡胶的代用品，主要与其它橡胶混合使用，制造轮胎、胶带、胶管、胶鞋等</p>
		氯丁橡胶	<p>它不仅具有可与天然橡胶类似的高弹性、高绝缘性、高耐碱性和较高强度，而且具有天然橡胶所没有的耐油、耐溶剂、耐氧化、耐老化、耐酸、耐热、耐燃烧等优良性能，因此有“万能橡胶”之称。但它耐寒性差，密度大。主要用于制作地下矿井运输带、风管、输油管及电缆、绝缘导线等</p>

(续)

序号	类别		说明
2.3	特种橡胶	类型	特种橡胶是指用于制造在高温、低温、酸、碱、油、辐射等特殊条件下使用的零部件的橡胶。较常用的有聚氨酯、丁腈橡胶、硅橡胶等
		聚氨酯	其强度高, 耐磨性、耐油性好。用于制作实心胎、胶辊和耐磨件等
		丁腈橡胶	其强度也较高, 耐油性好, 使用温度较高(可达120~170℃)。主要用作耐油垫圈和油管
		硅橡胶	其耐热性和耐寒性很好, 在-100~+300℃范围内均保持良好弹性, 还有优良的绝缘性能和抗老化性能。但强度低, 耐磨性差。主要用于制造耐高温和低温的零件及电线、电缆、电气设备等
3	工业陶瓷		
3.1	性能特点		陶瓷是一种无机非金属材料。它具有耐高温、耐腐蚀、耐磨损、硬度高、绝缘性能好等优点, 不仅广泛用作餐具等生活用品, 而且在现代工业中特别是电力工业中得到越来越广泛的应用。陶瓷可分普通陶瓷和特种陶瓷两大类
3.2	普通陶瓷	结构	普通陶瓷又称“硅酸盐陶瓷”或“传统陶瓷”, 它是粘土、石英、长石等天然硅酸盐矿物为原料, 经原料加工、成形、烧结而制得的陶瓷
		应用	其成本低廉, 产量大, 广泛用于电气、化工、建筑等工业部门, 用作工作温度低于200℃的酸碱介质容器、管道、电力系统的绝缘元件、纺织机械的导纱零件等
3.3	特种陶瓷	结构	特种陶瓷是利用纯度较高的人工合成原料如 Al_2O_3 、SiC、 Si_3N_4 、BN等, 经配料、成形、烧结而制得的陶瓷, 又称“现代陶瓷”。特种陶瓷具有一些独特的物理、化学、力学性能, 如耐高温、抗氧化、耐腐蚀、高强度等
		应用	常见的氧化铝陶瓷, 强度高于普通陶瓷, 硬度仅次于金刚石, 有很好的耐磨性, 主要用作内燃机的火花塞、轴承、活塞、切削刀具、熔化金属的坩锅和高温热电偶套管等。氮化硅陶瓷、碳化硅陶瓷和氮化硼陶瓷等, 多用于绝缘、耐磨、耐蚀和耐高温零件
4	复合材料		
4.1	性能特点		复合材料是由两种或两种以上不同性质的材料用某种工艺方法组合而成, 多以树脂、橡胶、陶瓷或金属为基本材料, 以纤维、粒状或片状物为增强材料。复合材料具有比强度高(例如碳纤维-环氧树脂复合材料, 其比强度比钢高出7倍)、抗疲劳和破断安全性好、耐高温、减振性能好等优点, 是单一材料所无法相比的, 因而这种新型的工程材料越来越引起人们的重视, 应用越来越广泛。复合材料根据其结构特点, 可分为纤维复合、层叠复合、细粒复合和骨架复合等类型。下面仅介绍几种纤维复合材料

(续)

序号	类别	说明
4.2	玻璃纤维增强塑料	玻璃纤维增强塑料亦称“玻璃钢”。它以粘结的树脂材料性质分,有热塑性和热固性两种。①玻璃纤维热塑性增强塑料:以热塑性树脂为粘结材料,以玻璃纤维为增强材料。这类材料广泛用于要求重量轻、强度高的场所,如航天、船舶、车辆、农机等的受力受热结构件、传动件以及电机、电器的绝缘件等。②玻璃纤维热固性增强塑料:以热固性树脂为粘结材料,以玻璃纤维为增强材料。这类材料的特点是质轻,比强度高,易成形,耐腐蚀性强,电波穿透性好,因而作为新型结构材料广泛应用于各工业部门
4.3	碳纤维增强塑料	碳纤维增强塑料是以树脂为基体材料,碳纤维为增强材料的一种新型结构材料,常用的树脂有环氧树脂、酚醛树脂和聚四氟乙烯等。这种复合材料具有质轻、强度高、导热好、摩擦小、抗冲击性能好、疲劳强度高优点,在机械工业和航空工业中应用很多,如制作轴承、密封圈、齿轮、飞机的翼尖、尾翼、起落架支柱、导弹的喷嘴等等

(三) 金属切削机床

1. 金属切削机床的型号编制 按 JB1838—85《金属切削机床型号编制方法》规定,采用字母(符号○)和阿拉伯数字(符号△)进行编制,如表 JC5-5 所示。

表 JC5-5 金属切削机床的型号编制 (据 JB1838—85)

序号	项目	说明										
1	型号的格式和含义	(△)	○	○	△	△	(×△)	(○)	(/△)			
		分类代号	类代号	特性代号	组、系代号	设计序号或主参数	第二主参数	重大改进序号	变型代号			
2	类和分类代号	类别	车床	钻床	镗床	磨床			齿轮加工机床	螺纹加工机床		
		代号	C	Z	T	M	2M	3M	Y	S		
		类别	铣床	刨插床	拉床	特种加工机床		锯床	其它机床			
		代号	X	B	L	D		G	Q			
3	通用特性代号	高精度	精密	自动	半自动	数控	加工中心	仿形	轻型	加重型	筒式	
	代号	G	M	Z	B	K	H	F	Q	C	J	
4	机床组别划分	组别	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	代号	车床	仪表车床	单轴自动车床	多轴自动及半自动车床	回轮、转塔车床	曲轴及凸轮轴车床	立式车	落地及卧式车床	仿形及多刀车床	轮、轴、辊、锭及铲齿车床	其它车床

(续)

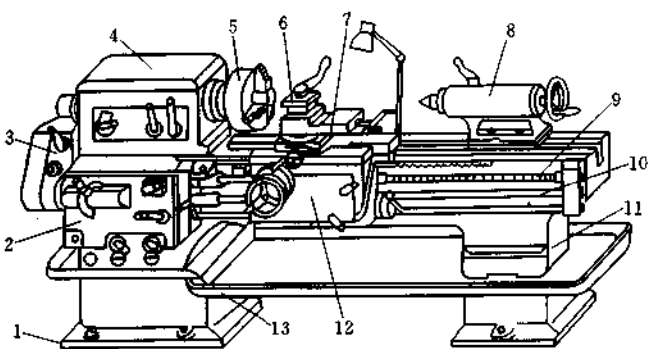
序号	项目		说明											
4	机床 组别 划分	钻床 (Z)		坐标 镗钻床	深孔 钻床	摇臂钻 床	台式 钻床	立式钻 床	卧式 钻床	铣钻 床	中心孔 钻床			
		镗床 (T)			深孔 镗床			坐标 镗床	立式镗 床	卧式 铣镗床	精镗 床	汽车拖 拉机修 理用镗 床		
		磨 床	M	仪表 磨床	外圆 磨床	内圆 磨床	砂轮机			导轨磨 床	刀具 刃磨床	平面 及端面 磨床	曲轴、凸 轮轴、花 键轴及 轧辊磨 床	工具 磨床
			2M		超精 机	内、外 圆珩磨 机	平面、球 面珩磨 机	抛光 机	砂带抛 光及磨 削机床	刀具 刃磨及 研磨机 床	可转 位刀片 磨削机 床	研磨机	其它 磨床	
			3M		球轴 承套圈 磨床	滚子 轴承套 圈滚道 磨床	轴承套 圈超精 机	滚子 及钢球 加工机 床	叶片磨 削机床	滚子 超精及 磨削机 床		气门活 塞及活 塞环磨 削机 床	汽车 拖拉机 修磨机 床	
		齿轮加 工机床 (Y)	仪表 齿轮加 工机		锥齿 轮加工 机	滚齿机	剃齿 及珩齿 机	插齿机	花键 轴铣床	齿轮 磨齿机	其它齿 轮加工 机	齿轮 倒角及 检查机		
		螺纹加 工机床 (S)				套螺纹 机	攻螺 纹机		螺 纹 铣床	螺 纹 磨床	螺 纹 车 床			
		铣床 (X)	仪表 铣床	悬臂 及滑枕 铣床	龙门 铣床	平面铣 床	仿形 铣床	立式升 降台铣 床	卧 式 升 降 台 铣 床	床身 式铣床	工 具 铣 床	其它 铣床		
		刨插床 (B)		悬臂 刨床	龙门 刨床			插床	牛头 刨床		边 缘 及 模 具 刨 床	其它 刨床		
		拉床 (L)			侧拉 床	卧式外 拉床	连续 拉床	立式内 拉床	卧 式 内 拉 床	立 式 外 拉 床	键槽及 螺 纹 拉床	其它 拉床		
		特种加 工机床 (D)		超 声 加工 机	电 解 磨床	电 解 加 工 机			电 火 花 磨 床	电 火 花 加 工 机				
		锯床 (G)			砂 轮 片 锯 床			卧 式 带 锯 床	立 式 带 锯 床	圆 锯 床	弓 锯 床	链 锯 床		
		其它 机床 (Q)	其它 仪表 机 床	管 子 加 工 机 床	木 螺 钉 加 工 机			刻 线 机	切 断 机					

(续)

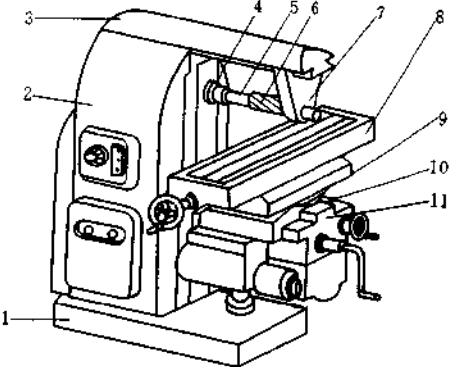
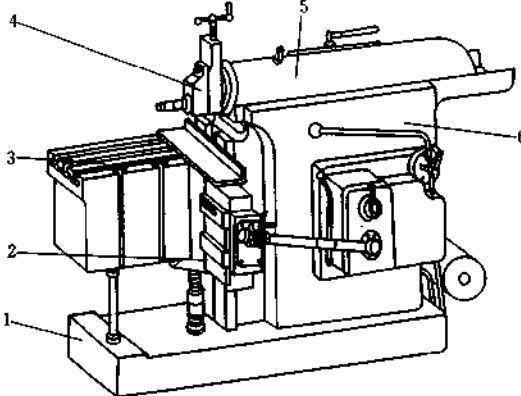
序号	项目	说明
5	机床型别的表示	同一组中的机床又分若干型别,每一型别用一个阿拉伯数字表示,列在机床型号中组别代号数字之后
6	机床主参数的表示	机床的主参数在机床型号中用机床的工作面宽度或最大加工直径等实际值(单位mm)的1:1或1:10或1:100比例来表示。过去也有用中心高或工作台号数等来表示的(老型号)
7	机床型号示例	<ul style="list-style-type: none"> ① “MG1432”,表示最大磨削直径为320mm的高精度万能外圆磨床 ② “XK5040”,表示工作台面宽度为400mm的数控立式升降台铣床 ③ “C2150×6”,表示最大棒料直径为50mm的六轴棒料自动车床 ④ “C616”,表示中心高为160mm的卧式车床(老型号) ⑤ “C620-1”,表示中心高为200mm经第一次改进结构的卧式车床(老型号) ⑥ “X62W”,表示为2号工作台(工作面宽度为320mm)的万能升降台铣床(老型号)

2. 常用金属切削机床的加工特点和基本结构 如表 JC5-6 所示。

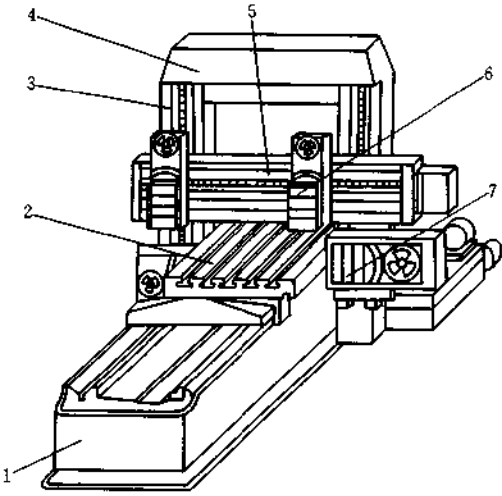
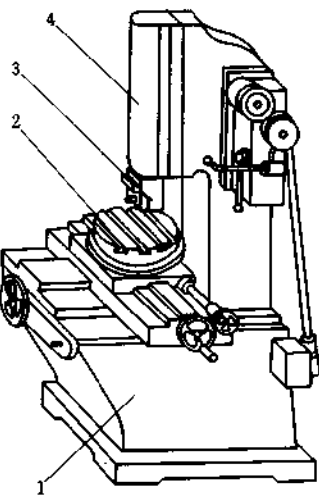
表 JC5-6 常用金属切削机床的加工特点和基本结构

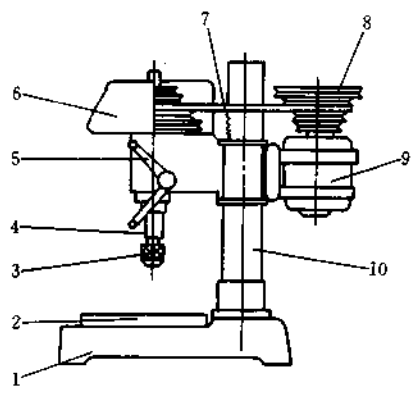
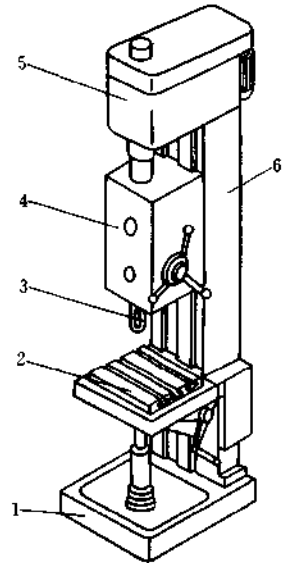
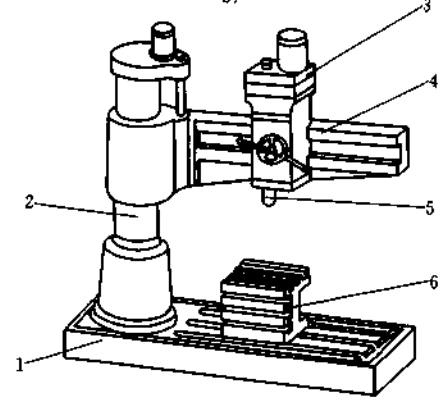
序号	类别	说明
1	加工特点	<p>车床以车刀为刀具,主要用来车削各种回转表面如外圆柱面、内圆柱面、端面、端锥面等,亦可用来加工内外螺纹,还可进行钻孔、扩孔、铰孔、攻螺纹等工作。工作时,一般工件作旋转运动,刀具作进给运动,以切去工件上多余的金属,使工件获得规定的形状和尺寸。但进行钻孔、扩孔、铰孔、攻螺纹等工作时,则刀具作旋转运动,工件作进给运动</p>
	基本结构	<p>常见的车床有卧式车床、转塔车床、立式车床、自动车床等。卧式车床的结构如下图所示。车床的动力由交流电动机供给,电动机包括主轴电动机和辅助电动机</p>  <p>1—底座 2—进给箱 3—挂轮箱 4—主轴箱 5—卡盘 6—刀架 7—滑板 8—尾座 9—丝杠 10—光杠 11—床身 12—溜板箱 13—动力箱(内装电动机)</p>

(续)

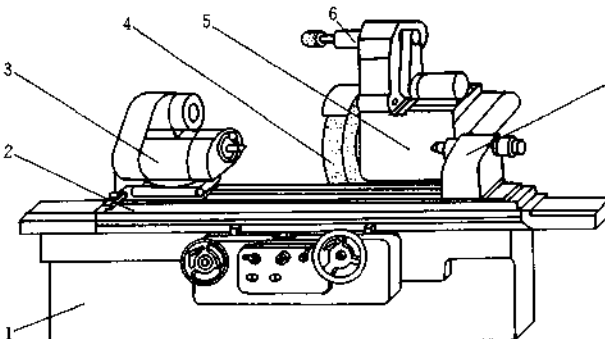
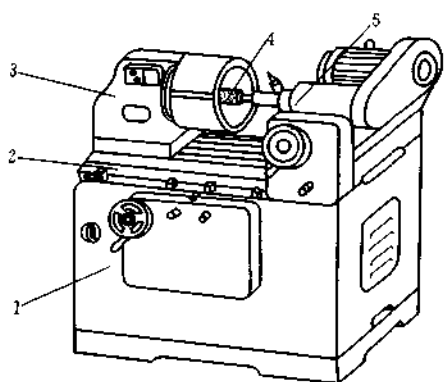
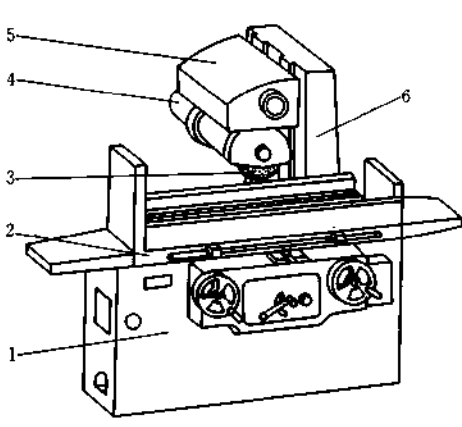
序号	类别	说 明
2	铣床	<p>加工特点 铣床使用具有多刃的棒状或盘状铣刀进行铣削加工,可铣削平面、曲面和各种凹槽如齿轮的齿形等。工作时刀具旋转,工件移动</p> <p>基本结构 铣床有卧式铣床、立式铣床、龙门铣床、万能铣床等。右图为万能升降台铣床结构。铣床的动力由交流电动机供给,电动机包括主轴电动机、进给电动机和冷却泵电动机等</p>  <p>1—底座 2—床身 3—横梁 4—主轴 5—刀杆 6—铣刀 7—支架 8—工作台 9—回转盘 10—滑靴 11—升降台</p>
3	刨床	<p>加工特点 刨床以刨刀为刀具来进行刨削加工,主要用于刨削平面,也可刨削其它形状的表面。工作时,刨刀夹紧于刨床的刀架上,与工件作相对的往复切削运动和进给运动</p> <p>基本结构 常见的刨床有牛头刨床和龙门刨床。下面图 a 为牛头刨床的结构;图 b 为龙门刨床的结构。龙门刨有多个刀架,故可同时加工多个表面,有利于提高表面间相互位置的精度及提高生产率。刨床一般采用交流电动机作动力,但龙门刨的工作台多采用直流发电机和电动机组驱动,以实现无级调速和正反转</p>  <p>a) 牛头刨床 1—底座 2—横梁 3—工作台 4—刀架 5—滑枕 6—床身</p>

(续)

序号	类别	说明
3	刨床 基本结构	 <p>b) 龙门刨床</p> <p>1—床身 2—工作台 3—立柱 4—顶梁 5—横梁 6—上刀架 7—侧刀架</p>
4	插床 基本结构	<p>加工特点 插床以插刀为刀具，对固定工件作上下往复的切削运动。工件夹紧在工作台上，可作纵向、横向或旋转的进给运动。通常用于插削方孔、键槽等</p> <p>插床的基本结构如下图所示</p>  <p>1—床身 2—工作台 3—刀架 4—滑枕</p>
5	钻床 加工特点	<p>钻床以钻头为刀具，用于加工工件的孔。工作时，工件固定不动，刀具同时作旋转运动和进给运动。主要用于钻孔，也可用于铰孔、扩孔或攻螺纹</p>

序号	类别	说明
5	钻床 基本结构	<p>常见的钻床有台式钻床 (图 a)、立式钻床 (图 b) 和摇臂钻床 (图 c) 等</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>a) 台式钻床 1—底座 2—工作台 3—钻夹头 4—主轴 5—进给手柄 6—罩 7—传动带 8—带轮 9—电动机 10—主柱</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>b) 立式钻床 1—底座 2—工作台 3—主轴 4—进给箱 5—主轴箱 6—主柱</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>c) 摇臂钻床 1—底座 2—立柱 3—主轴箱 4—摇臂 5—主轴 6—工作台</p> </div> </div>

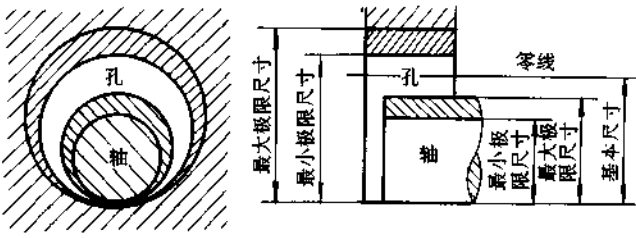
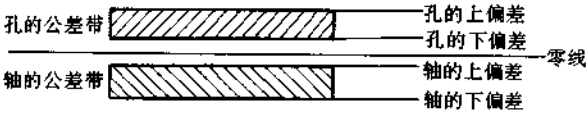
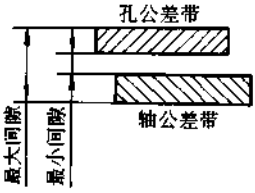
(续)

序号	类别	说明
6	磨床 基本结构	<p>加工特点 磨床以砂轮为刀具来加工工件表面。工作时，砂轮相对于工件作高速旋转的切削运动和低速的进给运动。工件经磨削后，可达到较高的精度和较小的表面粗糙度</p>
		<p>常见的磨床有外圆磨床 (图 a)、内圆磨床 (图 b)、平面磨床 (图 c) 和无心磨床等。无心磨床的磨削方式与一般磨削不同，其工件不用顶尖或卡盘夹持，而是置于砂轮与导轮之间由托板或托轮支持。导轮为橡胶结合剂的刚玉类砂轮，带动工件旋转，同时砂轮高速旋转，对工件进行磨削</p>
		<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>a) 万能外圆磨床 1—床身 2—工作台 3—头架 4—砂轮 5—砂轮架 6—内圆磨具 7—尾架</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>b) 内圆磨床 1—床身 2—工作台 3—头架 4—砂轮 5—砂轮架</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>c) 平面磨床 1—床身 2—工作台 3—砂轮 4—砂轮架 5—滑座 6—立柱</p> </div> </div>

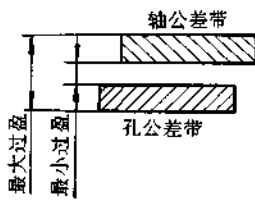
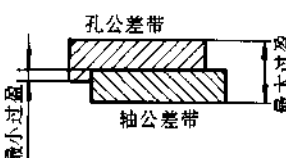
(四) 公差与配合

1. 公差与配合的有关概念 如表 JC5-7 所示。

表 JC5-7 公差与配合的有关概念

序号	项 目	说 明
1	公差与配合示意图	
2	公差术语	<p>基本尺寸 指设计给定的尺寸。它是计算极限尺寸和偏差的基准尺寸。相配合的孔与轴的基本尺寸应该是相同的，如上图所示</p> <p>实际尺寸 指对零件测量所得的尺寸。由于各种因素的影响，测量存在误差，因此零件的实际尺寸也不能认为就是零件的尺寸真值</p> <p>极限尺寸 指允许零件尺寸变化的两个界限值。它以基本尺寸为基准来确定。两个界限值中较大的一个，称为“最大极限尺寸”；较小的一个，称为“最小极限尺寸”</p> <p>尺寸偏差 指某一尺寸与其基本尺寸的代数差，简称“偏差”。最大极限尺寸与基本尺寸的代数差，称为“上偏差”。最小极限尺寸与基本尺寸的代数差，称为“下偏差”。上偏差与下偏差，统称“极限偏差”。实际尺寸与基本尺寸的代数差，称为“实际偏差”。偏差可正可负</p> <p>尺寸公差 指允许的尺寸变动量，简称“公差”。公差等于最大极限尺寸与最小极限尺寸之差（绝对值）</p> <p>尺寸公差带 指上、下偏差之间的区域。例如序号 1 所示孔与轴的公差带如下图所示</p> 
3	配合术语	<p>间隙配合 指孔与轴之间具有间隙的配合，如右图所示。孔的尺寸与轴的尺寸的代数差为正值</p> 

(续)

序号	项目	说明
3	配合的术语	
	过盈配合	指孔与轴之间具有过盈的配合,如右图所示。孔的尺寸与轴的尺寸的代数差为负值 
	过渡配合	指孔与轴之间的配合中可能有间隙,也可能有过盈,即孔与轴的公差带有交叠 
4	公差等级	按 GB1800~1804—79《公差与配合》规定,标准公差等级共分 20 级: IT01、IT0、IT1、IT2、…、IT18。等级依次降低,相应的公差值依次增大,IT01 精度最高,IT18 精度最低。标差公差代号 IT 为“International Tolerance”的缩写,意指“国际公差”

2. 公差等级及其应用条件 如表 JC5-8 所示。

表 JC5-8 公差等级及其应用条件 (据 GB1800—79)

序号	公差等级	应用条件说明
1	IT01	用于特别精密的尺寸传递基准
2	IT0	用于特别精密的尺寸传递基准及宇航中特别重要的极个别精密配合尺寸
3	IT1	用于精密的尺寸传递基准、高精密度测量工具、特别重要的极个别精密配合尺寸
4	IT2	用于高精密的测量工具、特别重要的精密配合尺寸
5	IT3	用于精密测量工具、小尺寸零件的高精度的精密配合及与 C 级滚动轴承配合的轴径和外壳孔径
6	IT4	用于精密测量工具、高精度的精密配合和 C 级、D 级滚动轴承配合的轴径和外壳孔径
7	IT5	用于机床、发动机和仪表中特别重要的配合。在配合公差要求很小、形状精度要求很高的条件下,这类公差等级能使配合性质比较稳定,相当于旧国标中 1 级精度轴的公差
8	IT6	广泛用于机械制造中的重要配合,配合表面有较高均匀性的要求,能保证相当高的配合性质,使用可靠,相当于旧国标中 2 级精度轴和 1 级精度孔的公差
9	IT7	应用条件与 IT6 相类似,但它要求的精度可比 IT6 稍低一些。在一般机械制造中应用相当普遍,相当于旧国标中 3 级精度轴或 2 级精度孔的公差
10	IT8	用于机械制造中属中等精度,在仪器、仪表及钟表制造中,由于基本尺寸较小,所以属较高精度范畴。在农业机械、纺织机械、印染机械、自行车、缝纫机、医疗器械中应用最广
11	IT9	应用条件与 IT8 相类似,但要求精度稍低于 IT8 时用,比旧国标的 4 级精度公差值要大
12	IT10	应用条件与 IT9 相类似,但要求精度稍低于 IT9 时用,相当于旧国标的 5 级精度公差
13	IT11	用于配合精度要求较粗糙,装配后可能有较大的间隙,特别适用于要求间隙较大、且有显著变动而不会引起危险的场合,相当于旧国标的 6 级精度公差

主要参考文献

- 1 张绍甫, 吴善元主编. 机械基础. 北京: 高等教育出版社, 1994
- 2 丁家镛, 吴一江主编. 机械工程学基础. 北京: 机械工业出版社, 1994
- 3 王洪书主编. 机械基础. 北京: 中国劳动出版社, 1994
- 4 陈文明, 高殿玉, 刘群山主编. 金属工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1994
- 5 机械工程手册, 电机工程手册编委会编. 机械工程师手册. 北京: 机械工业出版社, 1989
- 6 唐金松主编. 简明机械设计手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1992
- 7 任嘉卉主编. 公差与配合手册. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 8 郭镇邦编. 机械工业最新基础标准应用手册. 北京: 机械工业出版社, 1988

六、电路和磁路基础 (JC6)

(一) 常用的电路和磁路名词术语

供电技术中较常用的电路和磁路名词术语, 如表 JC6-1 所示。

表 JC6-1 常用的电路和磁路名词术语

序号	名词术语	含义说明
1	电 electricity	电是实物的一种属性。现代科学认为: 构成实物的许多基本粒子都带有一定的电, 有的带“正电”, 有的带“负电”。一切物体都由大量原子构成, 而原子则由带正电的原子核和带负电的电子组成。在正常情况下, 同一个原子中正负电量相等, 因而整个物体被认为是带不带电的或中性的。当它们由于某种原因(如摩擦、受热、化学变化等)而失去一部分电子时, 就带正电; 如获得额外电子时, 就带负电
2	电荷〔量〕 electric charge	①通常将带电体本身简称为“电荷”, 如说运动电荷、自由电荷等 ②有时将“电荷”看作一种物理量, 指“电荷量”。这是对物体荷电多少的度量。电荷的物理量符号为“Q”或“q”, 而其 SI 单位为“库仑”(C)
3	电场 electric field	指传递电荷与电荷间相互作用的物理场。电荷周围总存在电场; 同时电场对其场中其它电荷又有力的作用。静止电荷周围的电场, 称为“静电场”。运动电荷周围则除了存在电场外, 还出现磁场(序号 5)。实际上, 电场与磁场是相互依存的统一电磁场(序号 6)的两个方面 为了形象地描述电场的分布, 人们采用了假想的“电力线”。在静电场中, 电力线从正电荷发出, 而终止于负电荷。电力线上任一点的切线方向, 就是该点电场强度(序号 8)的方向; 而垂直于该点电力线切线的横截面上的电力线密度, 则正比于该点电场强度的大小
4	磁 magnetism	磁是某些物质能吸引铁、钴、镍等物质的属性。我国古代就已发现一种称为“磁石”的天然矿物(Fe_3O_4)具有磁性。后来发现, 磁与电有着不可分割的联系。磁性是来源于电流或实物内部电荷的运动
5	磁场 magnetic field	指传递运动电荷或电流之间相互作用的物理场。磁场由运动电荷或电流产生, 同时对其它运动电荷或电流又有力的作用。运动电荷或电流之间的相互作用是通过磁场和电场来传递的。磁场是统一电磁场的一个方面 为了形象地描述磁场的分布, 人们采用了假想的“磁力线”。对永久磁铁磁场, 在磁铁内部, 磁力线由 S 极到 N 极, 在磁铁外部, 磁力线由 N 极到 S 极, 整个磁力线是闭合的曲线。对电磁线圈或电磁铁的电流磁场, 其磁力线方向则按“右手螺旋定则”(参看表 JC2-15 序号 8)确定, 磁力线穿出电磁线圈或电磁铁后在空间仍是闭合的。对载流导体周围的磁场, 其磁力线方向亦按“右手螺旋定则”确定, 磁力线亦是闭合曲线。磁力线上任一点的切线方向, 就是该点磁通密度(序号 61)的方向; 而该处磁力线的疏密程度则表示其磁通密度的大小

(续)

序号	名 词 术 语	含 义 说 明
6	电磁场 electromagnetic field	为相互依存的电场和磁场的总称。电场随时间变化时产生磁场，磁场随时间变化时又产生电场，两者互为因果，形成电磁场。随时间变化着的电磁场，称为“时变电磁场”。它又可分为交变电磁场和瞬变电磁场。变化的电场可能是由于变速运动的带电粒子所引起，而变化的磁场可能是由于强弱在变化的电流所引起。某处的电场或磁场一有变化，不论由于什么原因，这种变化就不是局限在一处，而总是以光速向四周传播，形成“电磁波”。电磁场是物质存在的形式之一，具有质量、动量和能量
7	电磁波 electromagnetic wave	①指在空间传播的交变电磁场。它在真空中的传播速度约为 $3 \times 10^8 \text{m/s}$ (光速)。无线电波、红外线、可见光、紫外线、X射线、γ射线等都是电磁波，但它们的波长或频率各不相同，特性和功能也有很大差异。如按波长或频率排列，它们就构成电磁波谱 ②有时也仅指用天线发射或接收的无线电波，而红外线、可见光等电磁波则统称为“光波”
8	电场强度 electric field strength	为表征电场强弱和方向的物理量。电场内某点的电场方向可用试验电荷(微小正电荷，其电量小到不致影响原电场的分布)在该点所受电场力的方向来确定；而电场强弱即电场强度的大小可用电场力与试验电荷的比值来确定。电场强度是矢量，常用 E 表示，其SI单位为“伏/米”(V/m)
9	电位、电势 electric potential	为描述电场能量特性的物理量。静电场中某点的电位，等于单位正电荷在该点所具有的位能(或势能，参看表JC2-1序号35)。理论上，常将“无穷远”处作为电位零点。在电工中，则常取地球表面(所谓“大地”)作为电位零点，即所谓“零电位”点。因此某点的电位数值上也等于单位正电荷从该点移到无穷远(或“大地”)时电场力对它所作的功。电位的符号为“V”或“φ”，其SI单位为“伏〔特〕”(V)
10	电压 voltage	即电路或电场中两点间的电位差(电势差)。在交流电路中，电压有瞬时值、平均值和有效值之分。交流电压的有效值通常就简称为“电压”，例如工厂高压配电电压10kV、低压配电电压380V等，均为电压有效值。电压的符号为“U”或“u”(瞬时值)，其SI单位为“伏〔特〕”(V)
11	电流 current	①指电荷的流动。由于电流形成的过程不同而有传导电流、对流电流和位移电流之分。我们采用的电流方向，与电子运动的方向相反 ②物理量“电流强度”的简称，它是单位时间内通过导体横截面的电荷量。电流的符号为“I”或“i”(瞬时值)，其SI单位为“安〔培〕”(A)
12	电源 electric source	①指将其它形式能量转变为电能的装置，如发电机、电池等。发电机是将机械能转变为电能，干电池和蓄电池是将化学能转变为电能，光电池是将光能转变为电能，等等 ②在电子设备中，有时也将变换电能形式的装置，如整流器等，作为电源
13	电动势 electromotive force	指电路中因其它形式能量转变为电能所引起的电位差(电势差)，其数值等于单位正电荷在外力(如化学力、电磁力等)作用下，由电源负极移至电源正极所作的功。其符号为“E”或“e”(瞬时值)，其SI单位为“伏〔特〕”(V)
14	周期 period	指周期量完成一个变化循环所需的时间。其符号为“T”，其SI单位为“秒”(s)

(续)

序号	名 词 术 语	含 义 说 明
15	正弦量 sinusoidal quantity	指按照自变量的正弦函数而变化的量
16	相量 phasor	为电工学科中用以表示正弦量大小和方向的矢量。设正弦量 $a = A_m \sin(\omega t + \alpha) = \sqrt{2} A \sin(\omega t + \alpha)$, 则其相量的模为正弦量 a 的振幅值 A_m 或方均根值 A , 相量的辐角为 a 的初相角 α , 相量表示为 $\dot{A}_m = A_m e^{j\alpha}$ 或 $\dot{A} = A e^{j\alpha}$
17	相, 相位 phase	正弦量 $a = A_m \sin(\omega t + \alpha)$ 的辐角 $\omega t + \alpha$, 称为该正弦量的“相”, 或“相位”、“相位角”。其中 α 则称为“初相”或“初相角”。因此相是决定一个正弦量瞬时值的物理量
18	频率 frequency	指周期量单位时间内变化的周波数。其符号为“ f ”, 其 SI 单位为“赫(兹)”(Hz)
19	角频率 angular frequency	为正弦量的频率 f 与 2π (弧度)的乘积, 即该正弦量的角频率 $\omega = 2\pi f$ 。其 SI 单位为“弧度每秒”(rad/s)
20	瞬时值 instantaneous value	指任一给定时刻的值。瞬时值通常用相应物理量符号的小写字母表示, 如瞬时值电流的符号为“ i ”
21	平均值 mean value average value	指在规定时间间隔内, 物理量的各瞬时值的算术平均值。对于周期量, 此时间间隔取为一个周期。平均值通常在物理量符号右下角加注“ av ”
22	方均根值 root-mean-square value	指在规定时间间隔内, 一个量的各瞬时值的平方的平均值的平方根。对于周期量, 此时间间隔取为一个周期
23	有效值 effective value	若交流电通过一电阻在一个周期内产生的热量与直流电在同一时间内通过此电阻产生的热量相等, 则此直流电的量值即为该交流电的“有效值”, 亦即“方均根值”
24	峰值 peak value	指在规定时间间隔内, 一个变量的最大值。对于周期量, 时间间隔为一个周期。正弦量的峰值亦称“振幅值”或“幅值”
25	相位差 phase difference	指在一给定瞬间, 两正弦量的相位之差值
26	超前 phase lead	若第一个正弦量相对于第二个同频率正弦量具有正的相位差, 则此相位差即第一个正弦量超前于第二个正弦量的相位角
27	滞后 phase lag	若第一个正弦量相对于第二个同频率正弦量具有负的相位差, 则此相位差即第一个正弦量滞后于第二个正弦量的相位角

(续)

序号	名 词 术 语	含 义 说 明
28	正交 in quadrature	指两个正弦量的频率相同、相位差为 $\pm \frac{\pi}{2}$ 的情况
29	反相 in opposition	指两个正弦量的频率相同、相位差为 π 的情况
30	导体 conductor	①指具有能在电场作用下移动的自由电荷的物体。常用的固体良导体有铜、铝导体 ②指用来承载传导电流的元件
31	半导体 semiconductor	指由浓度在一定温度范围内随温度升高而增加的电子和空穴来导电的物质。其电阻率介于金属和绝缘体之间
32	超导体 superconductor	指在足够低的温度和足够弱的磁场下,电阻率为零的物质
33	光电导体 photoconductor	指在吸收光子时其电导率增大的物质
34	介质极化 dielectric polarization	指在外电场作用下,电介质表面或内部出现电荷的现象。这是由于电介质中存在着“电偶极子”的缘故。外电场越强,极化越严重
35	介质损耗 dielectric loss	指电介质从时变电场中吸收并以热的形式耗散的功率,又称“介电损耗”。介质损耗用电介质功率因数角的补角 δ 的正切来表示,此 $\tan\delta$ 称为“介质损耗角的正切值”
36	介电常数 dielectric constant	又称“电容率”,是表征电容器两极间物质(介质)绝缘能力的一个特性系数。其符号为“ ϵ ”,SI单位为法/米(F/m)。真空的介电常数 $\epsilon_0=1/(36\pi\times 10^9)\text{F/m}$
37	集肤效应 skin effect	指导体中的交流电流在靠近导体表面处电流密度增大的效应。集肤效应随着频率增高而更为显著。它使导体的有效截面减小,电阻增大
38	绝缘体 insulant	①指用以阻止传导电流的、一般为电介质的材料 ②指隔热材料
39	绝缘性能 insulation property	指由于导体被绝缘而获得的全部性能
40	电阻 resistance	为表征物质阻碍电流通过能力的一个物理量。形状和体积都相同的不同物体,电阻的差别很大。金属的电阻最小(但随着温度的升高而增大)。绝缘体的电阻最大。半导体的电阻介于金属导体与绝缘体之间,并随着温度的升高而显著减小。在电路中,在一定电压下,电阻是决定电流强度的物理量。电阻的符号为“ R ”,其SI单位为“欧[姆]”(Ω)。电阻属于“耗能元件”
41	电阻率 resistivity	为表征物质导电性能的一个物理量,电阻率越小,导电性能越好。电阻率的符号为“ ρ ”,其SI单位为“欧姆·米”(Ω·m)
42	电导 conductance	为表征导体导电性能的一个物理量,是电阻的倒数。导体的电阻越小,其电导越大。电导的符号为“ G ”,其SI单位为“西[门子]”(S), $1\text{S}=1\Omega^{-1}$

(续)

序号	名 词 术 语	含 义 说 明
43	电导率 conductivity	为表征物质导电性能的一个物理量,又称“导电率”,是电阻率的倒数。其符号为“ γ ”,其 SI 单位为“西[门子]/米”(S/m)
44	自感 self inductance	又称“自感系数”。对一个闭合电路来说,自感就是该闭合电路所交链的全部磁通除以所通过的电流,或者该闭合回路所储存的全部磁能除以所通过的电流平方之半。其符号为“ L ”,其 SI 单位为“亨[利]”(H),常用单位为“毫亨”(mH)
45	互感 mutual inductance	在两个相互发生电磁感应的电路中,其一电路中所感生的磁通除以另一电路中感生此磁通的电流,即为“互感”。其符号为“ M ”或“ L_{12} ”,其 SI 单位为“亨[利]”(H),常用单位为“毫亨”(mH)
46	电感 inductance	自感和互感的统称。符号为“ L ”,其 SI 单位为“亨[利]”(H),常用单位为“毫亨”(mH)。电感能储存磁场能量,属“储能元件”
47	电容 capacitance	指表征两导体(或两极板)由于带电而引起其间电压变化的物理量。两导体间的电容以导体上所带电荷量除以其两端电压来量度。电容符号为“ C ”,其 SI 单位为“法[拉]”(F),常用单位为“微法”(μF)。电容能储存电场能量,亦属“储能元件”
48	感抗 inductive reactance	指电感与角频率的乘积。其符号为“ X_L ”,即 $X_L = \omega L$ 。其 SI 单位为“欧[姆]”(Ω)(注:序号 48~56 的定义均只适于正弦交流)
49	容抗 capacitive reactance	指电容与角频率的乘积的倒数。在阻抗计算中带负号。其符号为“ X_C ”,即 $X_C = \frac{1}{\omega C}$ 。其 SI 单位为“欧[姆]”(Ω)
50	电抗 reactance	感抗与容抗的统称。符号为“ X ”, $X = X_L - X_C$ 。其 SI 单位为“欧[姆]”(Ω)
51	阻抗模 modulus of impedance	指电路两端电压方均根值除以电流方均根值的商(标量)。有时简称“阻抗”。符号为“$|Z|$”,$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$ 。其 SI 单位为“欧[姆]”(Ω)
52	复数阻抗 complex impedance	指电阻与电抗的复数和,有时简称“复阻抗”或“阻抗”。符号为“ Z ”,即 $Z = R + jX = R + j(X_L - X_C)$,或 $Z = |Z|e^{j\varphi} = |Z|e^{j(\varphi_u - \varphi_i)}$,式中 X_L 为感抗, X_C 为容抗, φ_u 为电压的相角, φ_i 为电流的相角,$|Z|$ 为阻抗的模, φ 通常称为阻抗角。复数阻抗的 SI 单位为“欧[姆]”(Ω)
53	导纳 admittance	通过电路的电流除以端电压,即此电路的“导纳”。导纳为阻抗的倒数。其符号为“ Y ”,其 SI 单位为“西[门子]”(S)
54	导纳模 modulus of admittance	电路中的电流方均根值除以电路端电压方均根值的商(标量),称为该电路的“导纳模”,有时简称“导纳”。符号为“$|Y|$”,$|Y| = \sqrt{G^2 + B^2}$,式中 G 为电导, B 为电纳,其 SI 单位为“西[门子]”(S)
55	复数导纳 complex admittance	指导纳的复数形式,其模为导纳的模,辐角为电流的相角减去电压的相角。符号为“ Y ”,即 $Y = G + jB = |Y|e^{-j\varphi} = |Y|e^{j(\varphi_i - \varphi_u)}$,式中 G 为电导, B 为电纳,$|Y|$ 为导纳模, φ_u 为电压的相角, φ_i 为电流的相角, $\varphi = \varphi_i - \varphi_u$ 。其 SI 单位为“西[门子]”(S)
56	电纳 susceptance	指复数导纳的虚部。其符号为“ B ”,其 SI 单位为“西[门子]”(S)

(续)

序号	名 词 术 语	含 义 说 明
57	静电感应 electrostatic induction	①指一带电体移近另一导体,使导体上也产生电荷的现象 ②指在电场影响下引起物体上电荷分离的现象
58	电磁感应 electromagnetic induction	指产生感应电压或电流的现象。自感应和互感应均属电磁感应
59	磁介质 magnetic medium	为铁磁质、顺磁质和抗磁质的统称。它指在外磁场中因呈现磁化而能加强或减弱磁场的物质。磁化方向与外磁场相同而使磁场加强的,有铁磁质和顺磁质。而磁化方向与外磁场相反而使磁场减弱的,称为抗磁质。抗磁质和顺磁质的磁化较弱,且在外磁场撤去后立即消失。铁磁质的磁化较强,在外磁场撤去后还能保持部分磁性
60	磁通量 magnetic flux	为表征磁介质(或真空)中磁场分布情况的物理量。通过磁场中任一面积元的磁通量等于磁感应强度矢量在该面积元法线方向的分量与面积的乘积。在电磁感应现象中,感生电动势的大小取决于磁通量的变化率。磁通量简称“磁通”,符号为“ Φ ”,其 SI 单位为“韦(伯)”(Wb)
61	磁通(量)密度, 磁感应强度 magnetic flux density, magnetic induction	为表征磁场方向和其强弱的一个物理量。它是矢量,符号“ B ”,可由磁场中作用于电流元 Idl 上的力 dF 来定义,即 $dF=Idl \times B$ 。由此式可见,电流元所受的力 dF 垂直于 Idl 与 B 所在的平面,其方向按“右手螺旋定则”(参看表 JC2-15 序号 8)确定。而力的大小 $dF=|Idl| |B| \sin(B, Idl)$ 。因此,磁场的 B 可由载流导体在磁场中受到的力来确定。 B 的 SI 单位为“特(斯拉)”(T),其 CGS 制单位 ^① 为“高斯”(Gs), $1T=10^4Gs$
62	磁场强度 magnetic field strength	为表征磁场方向和强弱的另一个物理量。它也是矢量,符号“ H ”。磁场强度与产生磁场的电流强度成正比,而与磁介质无关。 H 与磁感应强度 B 具有下列关系 $H=B/\mu$ 式中, μ 为磁介质的磁导率。 H 的 SI 单位为安(培)每米(A/m)
63	磁导率 permeability	或称“绝对磁导率”,是表征物质或磁介质导磁性能的一个参数,其值为磁通密度 B 与磁场强度 H 之比值,其符号为“ μ ”,其 SI 单位为“亨[利]每米”(H/m)。真空的磁导率(磁常数) $\mu_0=4\pi \times 10^{-7}H/m$
64	相对磁导率 relative permeability	为物质或磁介质的绝对磁导率与真空磁导率之比值。其符号为“ μ_r ”,无单位
65	库仑力 coulomb force	亦称“静电力”,指点电荷之间的相互作用力,符合“库仑定律”(参看表 JC2-15 序号 2)
66	洛伦兹力 Lorentz force	亦称“电磁力”,指运动电荷或电流在磁场中所受到的作用力。力的方向符合“左手定则”(参看表 JC2-15 序号 6)
67	电路 electric circuit	指电流可在其中流通的器件或媒质的组合。作为“电路”的整体,也可称为“网络”(“电气网络”的简称)或“系统”(“电气系统”的简称)
68	线性电路 linear circuit	指由线性元件组成的电路。线性元件为其端电压与通过电流成线性关系(正比关系)的电路元件

(续)

序号	名 词 术 语	含 义 说 明
69	非线性电路 non-linear circuit	指含有非线性元件的电路。非线性元件为其端电压与通过电流成非线性关系(不成正比关系)的电路元件
70	单相电路 single-phase circuit	指由单一交流电压(单相电源)供电的电路,或称“单相系统”
71	三相电路 three-phase circuit	指由三相对称的交流电压(三相电源)供电的电路,或称“三相系统”。如果由 m 相电压电源供电,则称为“ m 相电路”或“ m 相系统”,统称“多相系统”
72	相序 sequential order of the phase	指多相系统中各相导体的瞬时电压(或电流)达到其最大值的先后顺序。如三相系统中, \dot{A}_1 超前 \dot{B}_1 120° , \dot{B}_1 又超前 \dot{C}_1 120° , 则此 \dot{A}_1 、 \dot{B}_1 、 \dot{C}_1 的相序称为“正序”。如 \dot{A}_2 滞后 \dot{B}_2 120° , \dot{B}_2 又滞后 \dot{C}_2 120° , 则此 \dot{A}_2 、 \dot{B}_2 、 \dot{C}_2 的相序称为“负序”。如 \dot{A}_0 、 \dot{B}_0 、 \dot{C}_0 同相, 则其相序称为“零序”(下角 1、2、0 即正序、负序、零序的代号)
73	等效电路 equivalent circuit	指在给定的对外性能即输入、输出量均不变的条件下,用理想元件组成的电路来描述实际电路性能的一种模型,亦称“等值电路”
74	激励 excitation	指施加于系统的外力或其它输入量(例如加于电路的电动势、电压等)
75	响应 response	指在规定条件下,由于激励所引起的动作或其它输出量(如输出电流、电压等)
76	(系统的)稳态 steady state (of a system)	指系统状态变量显然可以认为是恒定的一种系统运行状态
77	(系统的)暂态 temporary state (of a system)	指系统状态变量为不稳定的一种系统运行状态,亦即系统由一种稳态转换为另一种稳态的过渡状态,亦称“瞬态”
78	系统 system	指通过完成规定功能来实现给定目标的相关元件的组合。从系统的范围来看,它与周围环境和外部系统是隔开的;但从系统的功能来看,它与周围环境及外部系统又有联系,而且通过这些联系相互发生作用
79	网络 network	指作为一个整体看待的、由相互连接的电路元件所构成的集。网络可用支路和节点来表示
80	支路 branch	指可作为两端网络看待的、由一个或一些电路元件所构成的网络子集
81	节点 node	①指网络中一个支路的端点;②指两个或两个以上支路的会合点
82	回路 loop	指电路或网络中只通过任何节点一次所构成的闭合路径
83	串联 series connection	指使同一电流通过所有相连接的器件的联结方式

(续)

序号	名 词 术 语	含 义 说 明
84	并 联 parallel connection	指使同一电压施加于所有相连接的器件的联结方式
85	星形联结 star connection	指多相系统(含三相系统)中所有的相具有一个共同的节点的联结方式。对三相系统, 又称“Y形联结”
86	三角形联结 delta connection	指三相连接成一个三角形(Δ)的联结方式, 又称“ Δ 形联结”, 或称“D形联结”
87	中性点 neutral point	①指多相系统(含三相系统)中星形联结或曲折形联结的公共点 ②指对称系统中, 正常情况下电位等于零且常常直接接地的点
88	直流电流 direct current	指大小和方向不随时间变化的电流。有时引伸为指以直流分量为为主的电流
89	交流电流 alternating current	指平均值为零的周期电流, 或称“交变电流”
90	正弦电流 sinusoidal current	指随时间按正弦规律变化的周期电流
91	非正弦电流 non-sinusoidal current	指随时间不按正弦规律变化的周期电流
92	脉动电流 pulsating current	指平均值不为零的周期电流
93	相电压 phase voltage	指多相系统中相线与系统中性点之间的电位差(电压)
94	相电流 phase current	指多相系统中电源或负荷中各相的电流
95	线电压 line voltage	指多相系统中相线与相线之间的电位差(电压), 又称“相间电压”或“线间电压”
96	线电流 line current	指多相系统中电源与负荷之间连接线路中的电流
97	瞬时功率 instantaneous power	指同一电路或元件的电压瞬时值 u 与通过的电流瞬时值 i 的乘积。用符号“ p ”表示, 即 $p=ui$, 其 SI 单位为“瓦”(W)
98	复(数视在)功率 complex power	指同一电路或元件的电压相量 \dot{U} 与电流相量的共轭复数 \dot{i}^* 的乘积, 用符号 \bar{S} 表示, 即 $\bar{S}=\dot{U}\dot{i}^*$ 。对感性功率, $\bar{S}=P+jQ$; 对容性功率, $\bar{S}=P-jQ$ 。复功率的模, 为视在功率 S ; 复功率的辐角, 为电压相量与电流相量的夹角(相位差角) φ 。注: GB3102.5—93 规定复功率符号用 S , 复功率模符号用 $|S|$(参看表 JC2-9 序号 41 备注)。考虑到 S 已用作视在功率的符号, 因此本手册按我国电工技术界习惯, 复功率符号采用 \bar{S}
99	有功功率 active power	指一个周期内瞬时功率的平均值, 因此又称“平均功率”。用符号“ P ”表示, 即 $P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt$ 。有功功率亦可定义为复功率的实部, 即 $P = \text{Re} \bar{S} = S \cos \varphi$ 。其 SI 单位为“瓦”(W)

(续)

序号	名 词 术 语	含 义 说 明
100	无功功率 reactive power	指复功率的虚部,用符号“ Q ”表示,即 $Q = \text{Im} \bar{S} = S \sin \varphi$ 。无功功率实质上是电路与电源之间往返交换能量的最大速率。其 SI 单位为“乏”(var)
101	视在功率 apparent power	又称“表观功率”,指同一电路或元件的电压方均根值 U 与电流方均根值 I 的乘积。用符号“ S ”表示,即 $S = UI$ 。其 SI 单位为“伏安”(V·A)
102	功率因数 power factor	指有功功率与视在功率的比值。用符号“ λ ”表示, $\lambda = P/S = \cos \varphi$ 。因此通常就将 $\cos \varphi$ 称为功率因数。功率因数的高低,反映了电功率有效利用的程度。功率因数低,不仅电功率有效利用的程度低,而且增大了传输系统中的电能损耗和电压损耗,同时增大了系统设备和线路的投资和有价金属消耗量,很不经济,因此应尽量设法提高功率因数
103	基波和谐波 fundamental and harmonic	指用傅里叶级数分解非正弦周期量所得的两类正弦波分量。与此非正弦周期量的周期相同的正弦波分量,称为“基波”。相应于该周期的频率称为“基本频率”,简称“基频”。频率等于基频整数倍的正弦波分量,称为“谐波”。如两倍于基频的称为“二次谐波”;三倍于基频的称为“三次谐波”;余类推。二次及以上的谐波,统称为“高次谐波”
104	谐振 resonance	指具有电感和电容的电路在某种频率的外加电动势或电流作用下,电路的感抗与容抗相互抵消,从而使电路呈纯电阻性的现象。这时的电流频率称为“谐振频率”。电感与电容串联的电路发生谐振时,阻抗最小,电流最大。电感与电容并联的电路发生谐振时,阻抗最大,电流最小(详见表 JC6-11)
105	振荡 oscillation	指一种随时间作周期性重复变化的物理过程。例如在电路中,电流或电压在最大值与最小值之间随时间作周期性重复变化的过程。按正弦变化的振荡电流或电压,即交流电流或电压。在移去外加电动势以后,电路能依靠本身存储的能量而发生的振荡,称为“固有振荡”或“自由振荡”。如果周期地供给适量的电能,以维持电路电流或电压的振幅恒定,则称“等幅振荡”。由电路本身所具有的电场和磁场能量之间交互变化而产生的振荡,称为“电磁振荡”。能产生振荡电流的电子电路,称为“振荡电路”,一般由电阻、电感、电容等元件和电子器件组成(详见表 JC8-22)
106	磁路 magnetic circuit	指在给定区域内形成磁通通路的、主要由磁性材料构成的媒质组合。最常用的磁路为用硅钢片迭制而成的铁心
107	磁动势 磁通势 magneto-motive force	为磁场强度 H 对一个闭合路径的线积分的一个标量,亦称“磁通势”,用符号“ F ”或“ F_m ”表示,即 $F = \oint H \cdot dr$, r 为距离。磁动势也等于与该闭合路径交链的总电流。如线圈匝数为 N ,线圈电流为 I ,则该线圈的磁动势为 $F = NI$ 。其 SI 单位为“安(培)”(A)
108	磁位差 magnetic potential difference	为磁场强度 H 对由点 1 到点 2 的线积分的一个标量,亦称“磁势差”,用符号“ U_m ”表示,即 $U_m = \int_{r_1}^{r_2} H \cdot dr$, r 为距离,其 SI 单位为“安”(A)
109	磁阻 reluctance	指表征磁路媒质阻碍磁通通过能力的一个物理量。磁位差除以相关的磁通,即该磁路的磁阻。其符号为“ R_m ”,其 SI 单位为“每亨(利)”(H^{-1})。磁阻的倒数,称为“磁导”,其符号为“ A ”,其 SI 单位为“亨(利)”(H)
110	磁化 magnetize	指在物体中感生磁化强度的现象或过程。“磁化强度”是表征材料磁化程度的一个物理量,与材料的体积有关。“磁化电流”是用以产生磁场的电流。“磁化曲线”是表示物质的磁通密度或磁化强度与磁场强度的函数关系的曲线。“起始磁化曲线”是指材料(中性状态的材料)受到一个其强度从零起单调增强的磁场作用所得到的磁化曲线。“磁滞回线”是由于交变磁场作用于材料所得到的对称于坐标原点的闭合成环的磁化曲线,又称“磁滞环”

(续)

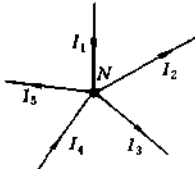
序号	名 词 术 语	含 义 说 明
111	磁损耗 magnetic losses	指磁性物质从交变磁场中吸收并以热的形式耗散的功率,包括磁滞损耗和涡流损耗,亦称“铁心损耗”或“铁损”
112	磁滞损耗 hysteresis losses	指由于磁滞而被铁磁材料吸收的功率(磁滞损耗的计算参看表 JC6-21 序号 1)
113	涡流损耗 eddy current losses	指由于涡流而被导体(包括铁磁材料)吸收的功率(涡流损耗的计算参看表 JC6-21 序号 2)。而“涡流”是由于导体中磁场随时间变化而在导体内产生的自行闭合的感应电流,又称“傅科电流”

① CGS 制单位,即“厘米·克·秒制”单位,长度以“厘米”(cm)为单位,质量以“克”(g)为单位,时间以“秒”(s)为单位。此单位加上电磁单位,则称为“绝对电磁系单位制”。

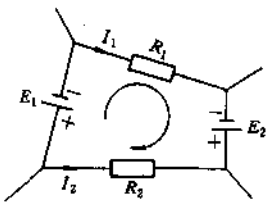
(二) 电路的基本定律

电路的基本定律,如表 JC6-2 所示。

表 JC6-2 电路的基本定律

序号	名 称	说 明
1	一段电路欧姆定律	通过一段电路的电流 I , 等于该段电路两端的电压 U 除以该段电路的电阻 R 或阻抗 Z 对直流电路: $I = U/R$ 对交流电路: $\dot{I} = \dot{U}/Z$ 或 $I = U/|Z|$
	欧姆定律 (Ohm) 定律	欧姆定律是表征线性电路中电流与电压(或电动势)间存在着线性关系这一规律的定律。由德国物理学家欧姆(Georg Simon Ohm, 1787~1854)在 1827 年发现
	全电路欧姆定律	通过有源闭合回路的电流 I , 等于该电路的电动势 E 除以该电路的总电阻 R_{Σ} (含电源内电阻和外电路电阻)或总阻抗 Z_{Σ} (含电源内阻抗和外电路阻抗) 对直流电路: $I = E/R_{\Sigma}$ 对交流电路: $\dot{I} = \dot{E}/Z_{\Sigma}$ 或 $I = E/|Z_{\Sigma}|$
2	基尔霍夫(Kirchhoff) 第一定律(KCL)	对电路中的任一节点,在任一瞬间,流入或流出节点的电流代数和恒为零 对直流: $\Sigma I = 0$ 对交流: $\Sigma i = 0$ 或 $\Sigma \dot{I} = 0$ 如流出节点的电流取正,则流入节点的电流取负 例:如图,对节点 N 有下列关系式(直流): $-I_1 + I_2 + I_3 - I_4 + I_5 = 0$ 

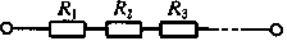
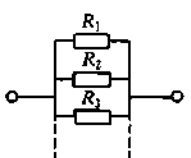
(续)

序号	名称	说明
3	基尔霍夫 (Kirchhoff) 第二定律(KVL)	<p>对电路中的任一回路,在任一瞬间,沿此回路的各段电压的代数和恒为零</p> <p>对直流: $\sum U=0$</p> <p>对交流: $\sum u=0$ 或 $\sum \dot{U}=0$</p> <p>如电压的参考方向与所取回路绕行方向一致时取正,则与绕行方向相反时取负</p> <p>例:</p>  <p>对如图所示回路有下列关系</p> $E_1 + I_1 R_1 - E_2 - I_2 R_2 = 0$

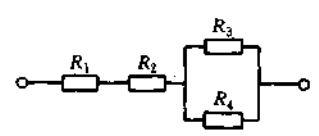
(三) 电路参数的计算

1. 电阻的计算 如表 JC6-3 所示。

表 JC6-3 电阻的计算

序号	项 目	公 式
1	导体电阻的计算	$R = \frac{l}{\gamma A} = \frac{\rho l}{A}$ <p>式中, A 为导体的截面积; l 为导体的长度; γ 为导体的电导率; 铜为 $53\text{m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$, 铝为 $32\text{m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$, 铁为 $7.52\text{m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$; ρ 为导体的电阻率, $\rho = 1/\gamma$; R 为电阻</p>
2	电阻温度变化的换算	$R_2 = R_1 [1 + \alpha(\theta_2 - \theta_1)]$ <p>式中, R_1, R_2 分别为导体温度在 θ_1, θ_2 ($^{\circ}\text{C}$) 时的电阻值; α 为导体的电阻温度系数 ($1/^{\circ}\text{C}$), 铜为 $0.0041/^{\circ}\text{C}$, 铝为 $0.00423/^{\circ}\text{C}$, 铁为 $0.00625/^{\circ}\text{C}$</p>
3	电阻串联	$R_x = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$ <p>式中, R_1, R_2, R_3, \dots 分别为串联的分电阻</p> 
4	等效总电阻的计算	<p>电阻并联</p> $R_x = R_1 \parallel R_2 \parallel R_3 \parallel \dots$ $\frac{1}{R_x} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$ <p>式中, R_1, R_2, R_3, \dots 分别为并联的分电阻。如用电导表示, 则</p> $G_x = G_1 + G_2 + G_3 + \dots$ 

(续)

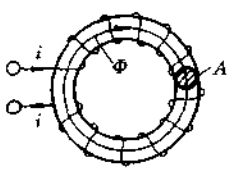
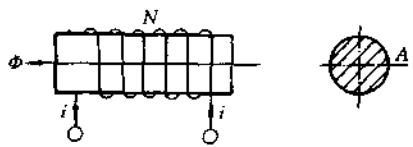
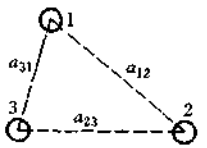
序号	项 目		公 式	
4	等效总电阻的计算	电阻并联	两电阻 R_1, R_2 并联的总电阻为 $R_z = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ 三电阻 R_1, R_2, R_3 并联的总电阻为 $R_z = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}$ n 个电阻 R 并联的总电阻为 $R_z = \frac{R}{n}$	
5		电阻混联	 如图所示混联电路的总电阻为 $R_z = R_1 + R_2 + R_3 \parallel R_4 = R_1 + R_2 + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}$	
6	电阻星形(γ)联结 与三角形(Δ)联结的 等效换算	$\gamma \rightarrow \Delta$	$R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3}$ $R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1}$ $R_{31} = R_3 + R_1 + \frac{R_3 R_1}{R_2}$ 如 $R_1 = R_2 = R_3 = R_\gamma$, 则 $R_\Delta = 3R_\gamma$	
7		$\Delta \rightarrow \gamma$	$R_1 = \frac{R_{12} R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$ $R_2 = \frac{R_{23} R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$ $R_3 = \frac{R_{31} R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$ 如 $R_{12} = R_{23} = R_{31} = R_\Delta$, 则 $R_\gamma = R_\Delta / 3$	

2. 电感和感抗的计算 如表 JC6-4 所示。

表 JC6-4 电感和感抗的计算

序号	项 目		公 式
1	电感和感抗的定义式	电感	$L = \frac{\psi}{i} = \frac{N\Phi}{i}$ 式中, i 为通过线圈的电流, ψ 为线圈中的磁链, Φ 为穿过线圈的磁通, N 为线圈的匝数, L 为电感
		感抗	$X_L = \omega L = 2\pi f L$ 式中, L 为线圈电感, f 为电流频率, $\omega = 2\pi f$ 为电流的角频率, X_L 为感抗

(续)

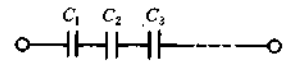
序号	项目	公 式																												
2	环形线圈电感的计算	$L = \frac{\mu N^2 A}{l}$ <p>式中, l 为圆环的平均长度; A 为圆环的横截面积; N 为环形线圈匝数; μ 为线圈中磁介质(圆环)的磁导率, $\mu = \mu_0 \mu_r$, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$, μ_r 为线圈中磁介质的相对磁导率, 对于空气和非磁性材料, $\mu_r \approx 1$</p> 																												
3	螺管线圈电感的计算	 $L = K \frac{\mu N^2 A}{l}$ <p>式中, l 为螺管的长度; A 为螺管截面积; N 为螺管线圈的匝数; μ 为线圈中磁介质的磁导率, 如前所述; K 为计算系数(亦称修正系数), 视螺管直径 d 与螺管长度 l 之比而定, 如下表所示</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>d/l</td> <td>0.1</td> <td>0.2</td> <td>0.4</td> <td>0.6</td> <td>0.8</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>K</td> <td>0.96</td> <td>0.92</td> <td>0.85</td> <td>0.79</td> <td>0.74</td> <td>0.69</td> </tr> <tr> <td>d/l</td> <td>1.3</td> <td>1.6</td> <td>2.0</td> <td>2.5</td> <td>5.0</td> <td>10.0</td> </tr> <tr> <td>K</td> <td>0.63</td> <td>0.56</td> <td>0.52</td> <td>0.47</td> <td>0.32</td> <td>0.20</td> </tr> </table>	d/l	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	K	0.96	0.92	0.85	0.79	0.74	0.69	d/l	1.3	1.6	2.0	2.5	5.0	10.0	K	0.63	0.56	0.52	0.47	0.32	0.20
d/l	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0																								
K	0.96	0.92	0.85	0.79	0.74	0.69																								
d/l	1.3	1.6	2.0	2.5	5.0	10.0																								
K	0.63	0.56	0.52	0.47	0.32	0.20																								
4	两平行导线线路单位长度电感的计算	<p>总电感</p> $L = L_o + L_i$ <p>式中, L_o 为外电感; L_i 为内电感; L, L_o, L_i 的单位均为 H/m</p>																												
		<p>外电感</p> $L_o = \mu_0 \ln \frac{a}{r} = 4\pi \ln \frac{a}{r} \times 10^{-7} \text{H/m}$ <p>式中, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$, 为真空和空气的磁导率, r 为导线半径, a 为两导线间距离</p>																												
		<p>内电感</p> $L_i = \frac{\mu}{4\pi} = \frac{\mu_0 \mu_r}{4\pi}$ <p>式中, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$ 为真空磁导率; μ_r 为导线材质的相对磁导率, 非铁磁材料 $\mu_r \approx 1$</p>																												
5	三相线路每相的单位长度电感和感抗的计算	<p>电感</p> $L_p = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\ln \frac{a}{r} + \frac{\mu_r}{4} \right)$ <p>式中, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$ 为真空和空气的磁导率; μ_r 为导线材料的相对磁导率; r 为导线半径; a 为线间几何均距, 设三相线路各导线间距离如图所示, 则其线间几何均距为</p>  $a = \sqrt[3]{a_{12} a_{23} a_{31}}$																												
		<p>感抗</p> $X_o = \omega L_p = 2\pi f L_p = \mu_0 f \left(\ln \frac{a}{r} + \frac{\mu_r}{4} \right)$ <p>取 $f = 50 \text{Hz}$, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$, $\ln \frac{a}{r} = 2.3 \lg \frac{a}{r}$, 而 X_o 的单位取 Ω/km 时, 则</p> $X_o = 0.1445 \lg \frac{a}{r} + 0.0157 \mu_r$																												

(续)

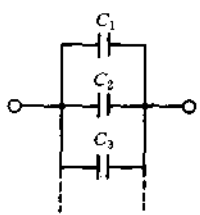
序号	项 目		公 式
6	等效总感抗的计算	感抗串联	$X_{L\Sigma} = X_{L1} + X_{L2} + X_{L3} + \dots$ 式中, $X_{L1}, X_{L2}, X_{L3}, \dots$ 为串联的分电感的感抗值
		感抗并联	$\frac{1}{X_{L\Sigma}} = \frac{1}{X_{L1}} + \frac{1}{X_{L2}} + \frac{1}{X_{L3}} + \dots$ 式中, $X_{L1}, X_{L2}, X_{L3}, \dots$ 为并联的分电感的感抗值 两电感并联时 $X_{L\Sigma} = \frac{X_{L1}X_{L2}}{X_{L1} + X_{L2}}$

3. 电容和容抗的计算 如表 JC6-5 所示。

表 JC6-5 电容和容抗的计算

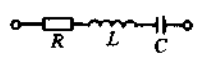
序号	项 目		公 式
1	电容和容抗的定义式	电容	$C = \frac{Q}{U}$ 式中, U 为电容器极板间的电压; Q 为每一极板上的电荷量; C 的 SI 单位为法拉(F), 常用单位为微法(μF)
		容抗	$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$ 式中, f 为电压频率; $\omega = 2\pi f$ 为角频率; C 为电容量; X_C 的 SI 单位为欧(Ω)
2	平板电容器电容的计算		$C = \frac{\epsilon A}{d}$ 式中, A 为极板面积; d 为两极板间距离; ϵ 为极板间电介质的介电常数
3	圆柱形电容器电容的计算		$C = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$ 式中, l 为圆柱形电容器的长度; r_1, r_2 为圆柱形电容器两极板(圆柱内外表面)的半径; ϵ 为极板间电介质的介电常数
4	两平行导线线路单位长度电容的计算		$C_0 = \frac{\pi\epsilon}{\ln \frac{a}{r}}$ 式中, a 为线间距离; r 为导线半径; ϵ 为线间电介质的介电常数, 真空和空气的 $\epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi}$ F/m
5	三相线路间电容的计算(略去线路对地电容)		每相单位长度的电容为 $C_{\phi 0} = \frac{2\pi\epsilon}{\ln \frac{a}{r}}$ 式中, a 为线间几何均距(参看表 JC6-4 序号 5); r 为导线半径; ϵ 为线间电介质的介电常数, 真空和空气的 $\epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi}$ F/m
6	等效总电容的计算	电容串联	$\frac{1}{C_{\Sigma}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$ 式中, C_1, C_2, C_3, \dots 分别为串联的分电容 

(续)

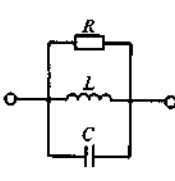
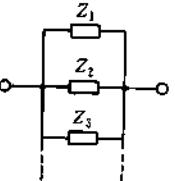
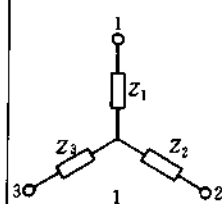
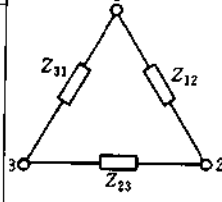
序号	项 目	公 式
6	等效总电容的计算 电容并联	$C_x = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$ 式中, C_1, C_2, C_3, \dots 分别为并联的分电容 
7	容抗串联	$X_{Cx} = X_{C1} + X_{C2} + X_{C3} + \dots$ 式中, $X_{C1}, X_{C2}, X_{C3}, \dots$ 为串联的分电容的容抗值
	等效总容抗的计算 容抗并联	$\frac{1}{X_{Cx}} = \frac{1}{X_{C1}} + \frac{1}{X_{C2}} + \frac{1}{X_{C3}} + \dots$ 式中, $X_{C1}, X_{C2}, X_{C3}, \dots$ 为并联的分电容的容抗值 两电容并联时 $X_{Cx} = \frac{X_{C1} X_{C2}}{X_{C1} + X_{C2}}$

4. 阻抗的计算 如表 JC6-6 所示。

表 JC6-6 阻抗的计算

序号	类 别	公 式
1	电阻与电感串联的阻抗计算	$Z = R + jX_L = |Z|e^{j\varphi}$ 式中, $|Z| = \sqrt{R^2 + X_L^2}$, 称为“阻抗模”; $\varphi = \arctan \frac{X_L}{R}$, 称为“阻抗角”
2	电阻与电容串联的阻抗计算	$Z = R - jX_C = |Z|e^{-j\varphi}$ 式中, $|Z| = \sqrt{R^2 + X_C^2}$, 称为“阻抗模”; $\varphi = \arctan \frac{X_C}{R}$, 称为“阻抗角”
3	电阻、电感、电容 (R-L-C) 串联的阻抗计算	$Z = R + j(X_L - X_C) = R + jX = |Z|e^{j\varphi}$ 式中, $|Z| = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$, 称为“阻抗模”; $\varphi = \arctan \frac{X_L - X_C}{R}$, 称为“阻抗角” ①当 $X_L > X_C$ 时, Z 呈感性, φ 为正 ②当 $X_L < X_C$ 时, Z 呈容性, φ 为负 ③当 $X_L = X_C$ 时, $Z = R, \varphi = 0$ 
4	电阻与电感并联的阻抗计算	$Z = R \parallel (jX_L) = |Z|e^{j\varphi}$ 式中, $|Z| = \frac{RX_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$, 称为“阻抗模”; $\varphi = \arctan \frac{R}{X_L}$, 称为“阻抗角”
5	电阻与电容并联的阻抗计算	$Z = R \parallel (-jX_C) = |Z|e^{-j\varphi}$ 式中, $|Z| = \frac{RX_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$, 称为“阻抗模”; $\varphi = \arctan \frac{R}{X_C}$, 称为“阻抗角”

(续)

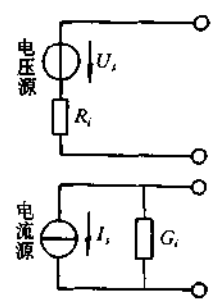
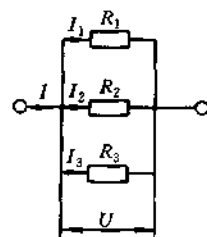
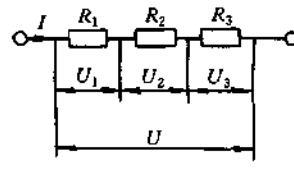
序号	类别	公 式
6	电感与电容并联的阻抗计算	$X_{\Sigma} = X_L \parallel X_C = \frac{X_C X_L}{X_C - X_L}$ <p>①当 $X_L > X_C$ 时, X_{Σ} 为容抗 ②当 $X_L < X_C$ 时, X_{Σ} 为感抗 ③当 $X_L = X_C$ 时, $X_{\Sigma} = \infty$, 此时在电感与电容间发生并联谐振现象</p>
7	电阻、电感、电容并联的阻抗计算	$Z = R \parallel (jX_L) \parallel (-jX_C) = |Z| e^{j\varphi}$ <p>式中, $|Z| = \frac{R \frac{X_C X_L}{X_C - X_L}}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{X_C X_L}{X_C - X_L}\right)^2}}$, 称为“阻抗模”; $\varphi = \arctan \frac{R}{\left(\frac{X_C X_L}{X_C - X_L}\right)}$, 称为“阻抗角”</p> <p>①当 $X_L > X_C$ 时, Z 呈容性, φ 为负 ②当 $X_L < X_C$ 时, Z 呈感性, φ 为正 ③当 $X_L = X_C$ 时, $Z = R, \varphi = 0$</p> 
8	阻抗并联的等效总阻抗计算	$\frac{1}{Z} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \dots \text{(复阻抗)}$ <p>或</p> $Y = Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots \text{(复导纳)}$ <p>式中, $Y = \frac{1}{Z}, Y_1 = \frac{1}{Z_1}, Y_2 = \frac{1}{Z_2}, Y_3 = \frac{1}{Z_3}, \dots$</p> <p>如 $Z = |Z| e^{j\varphi}$, 则 $Y = \left| \frac{1}{Z} \right| e^{-j\varphi}$</p> 
9	阻抗星形(γ)联结与三角形(Δ)联结的等效换算	$Z_{12} = Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_3}$ $Z_{23} = Z_2 + Z_3 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_1}$ $Z_{31} = Z_3 + Z_1 + \frac{Z_3 Z_1}{Z_2}$ <p>如</p> $Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z_Y$ $Z_{\Delta} = 3Z_Y$ 
10	阻抗星形(γ)联结与三角形(Δ)联结的等效换算	$Z_1 = \frac{Z_{12} Z_{31}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}}$ $Z_2 = \frac{Z_{23} Z_{12}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}}$ $Z_3 = \frac{Z_{31} Z_{23}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}}$ <p>如</p> $Z_{12} = Z_{23} = Z_{31} = Z_{\Delta}$ $Z_Y = Z_{\Delta} / 3$ 

(四) 直流电路的分析计算

1. 简单直流电路的分析计算 如表 JC6-7 所示。

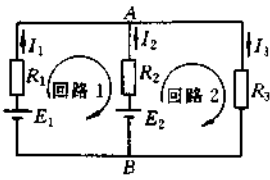
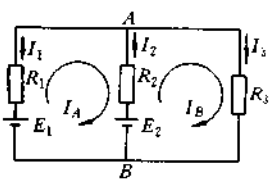
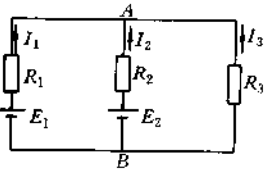
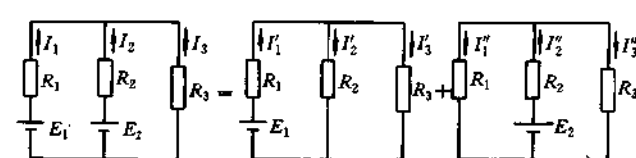
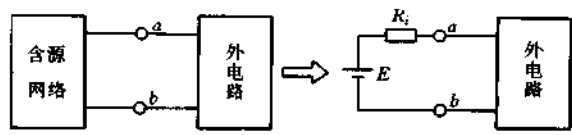
表 JC6-7 简单直流电路的分析计算

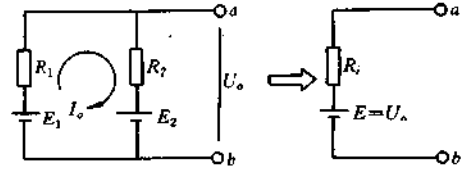
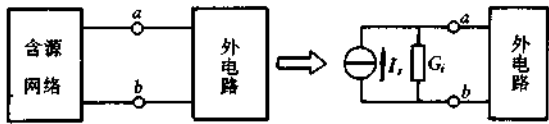
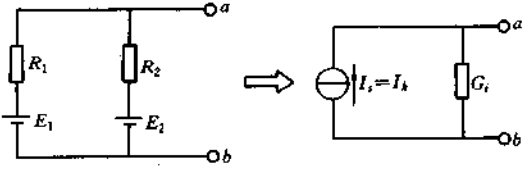
序号	项 目	说 明
1	电阻串联电路	等效总电阻 $R = R_1 + R_2 + R_3$
		电 流 各电阻上通过电流相同
		电 压 且 $U = U_1 + U_2 + U_3$ $U_1 : U_2 : U_3 = R_1 : R_2 : R_3$
		电流电压关系 $I = \frac{U}{R}$ 或 $U = IR$
		功 率 $P = P_1 + P_2 + P_3 = IU = I(U_1 + U_2 + U_3)$ 且 $P_1 : P_2 : P_3 = R_1 : R_2 : R_3$
2	电阻并联电路	等效总电阻 $R = 1 / \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) = 1 / (G_1 + G_2 + G_3)$
		电 流 且 $I = I_1 + I_2 + I_3$ $I_1 : I_2 : I_3 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3}$
		电 压 各电阻上的端电压相同
		电流电压关系 $I = \frac{U}{R}$ 或 $U = IR$
		功 率 $P = P_1 + P_2 + P_3 = UI = U(I_1 + I_2 + I_3)$ 且 $P_1 : P_2 : P_3 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3}$
3	电阻的 Y-Δ 或 Δ-Y 变换	Y→Δ 或 Δ→Y 互换计算参看表 JC6-3 序号 6、7。外电路的电流、电压不变,功率不变
4 5	电源的 等效变换	电压源 ↓ 电流源 $I_s = U_s G_s = \frac{U_s}{R_s}$ $G_s = \frac{1}{R_s}$
		电流源 ↓ 电压源 $U_s = \frac{I_s}{G_s}$ $R_s = \frac{1}{G_s}$



2. 复杂直流电路的分析计算 如表 JC6-8 所示。这些方法的原则亦适用于交流电路,只是电流、电压和电动势应改用相量,电阻改用复阻抗。

表 JC6-8 复杂直流电路的分析计算

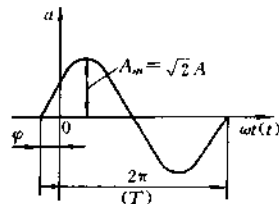
序号	类别	说明
1	支路电流法	<p>以支路电流作为未知量,直接应用基尔霍夫两个定律列出所需方程,然后联立解出各未知的支路电流</p> <p>例:</p> <p>回路 1: $R_1 I_1 - R_2 I_2 = E_1 - E_2$ (1)</p> <p>回路 2: $R_2 I_2 + R_3 I_3 = E_2$ (2)</p> <p>节点 A: $-I_1 - I_2 + I_3 = 0$ (3)</p> <p>联立解上列方程,可求得 I_1, I_2, I_3</p> 
2	回路电流法	<p>先以回路电流作为未知量,应用基尔霍夫电压定律列出所需方程,然后联立解出各未知的回路电流,最后求出各支路电流</p> <p>例:</p> <p>$R_1 I_A + R_2 (I_A - I_B) = E_1 - E_2$ (1)</p> <p>$R_2 (I_B - I_A) + R_3 I_B = E_2$ (2)</p> <p>联立解上列方程,求出 I_A, I_B, 而 $I_1 = I_A, I_2 = I_B - I_A, I_3 = I_B$</p> 
3	节点电压法	<p>先求出节点电压,然后应用欧姆定律求出各支路电流</p> <p>例:</p> <p>节点电压 $U_{AB} = \frac{\sum(EG)}{\sum G} = \frac{(E_1/R_1) + (E_2/R_2)}{(1/R_1) + (1/R_2) + (1/R_3)}$</p> <p>而</p> <p>$I_1 = (E_1 - U_{AB})/R_1$</p> <p>$I_2 = (E_2 - U_{AB})/R_2$</p> <p>$I_3 = U_{AB}/R_3$</p> 
4	叠加原理	<p>多电源作用于线性电路时在任一支路产生的电流,等于各个电源单独作用于该电路时在该支路产生的电流代数和</p> <p>例:</p>  <p>$I_1 = I_1 - I_1', \quad I_2 = -I_2 + I_2', \quad I_3 = I_3 + I_3'$</p>
5	戴维南定理 (Thevenin Theorem)	<p>又称“等效发电机定理”。一个含源的线性二端网络,可以用一条有源支路(含电动势和电阻)来等效替代,该有源支路的电动势 E 等于原含源网络端口的开路电压 U_0, 其电阻等于原含源网络化为无源网络后的入端电阻 R_i</p> 

序号	类别	说明
5	戴维南定理 (Thevenin Theorem)	<p>例:</p>  <p>①求 E: ab 开路时, 电流 $I_0 = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2}$ 故 $E = U_0 = E_2 + R_2 I_0 = E_2 + R_2 \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2}$</p> <p>②求 R_0: 将 E_1, E_2 短路得 $R_0 = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$</p>
6	诺顿定理 (Norton Theorem)	<p>与上述“戴维南定理”互为对偶的定理。一个含源的线性二端网络, 可以用一个电流源和一个并联电导来等效替代。该电流源 I_s 等于原含源网络端口的短路电流 I_k, 其并联电导等于原含源网络化为无源网络后的入端电导 G_i (即入端电阻 R_i 的倒数)</p>  <p>例:</p>  <p>①求 I_s:</p> <p>ab 短路时 $I_s = I_k = \frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} = \frac{E_1 R_2 + E_2 R_1}{R_1 R_2}$</p> <p>②求 G_i:</p> <p>将 E_1, E_2 短路后得 $R_i = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$</p> <p>故 $G_i = \frac{1}{R_i} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}$</p>

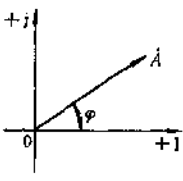
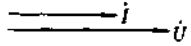
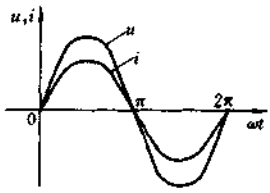
(五) 正弦交流电路的分析计算

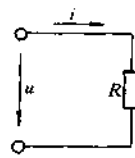
1. 单相正弦交流电路的分析计算 如表 JC6-9 所示。

表 JC6-9 单相正弦交流电路的分析计算

序号	项目	说明
1	基本概念 正弦交流电的波形图	

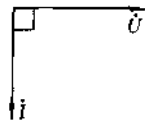
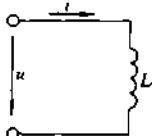
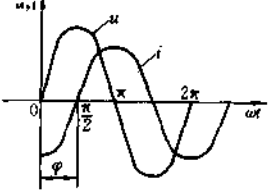

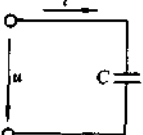
(续)

序号	项 目	说 明		
1	基本概念	<p>正弦交流电的解析式</p> $a = A_m \sin(\omega t + \varphi) = \sqrt{2} A \sin(\omega t + \varphi)$		
	正弦交流电的“三要素”	<p>①频率 f 或周期 T: $f = 1/T$</p> <p>②振幅值 A_m 或有效值 A: $A_m = \sqrt{2} A$</p> <p>③初相位[角]φ</p>		
2	“符号法”的特点	<p>正弦交流电的“符号法”又称“相量法”,即用复数形式的“相量”来代表正弦量,将描述正弦交流电路的微分或积分方程变换为复数代数方程,从而大大简化了正弦交流电路的分析计算</p>		
	正弦交流电的相量表达式	<p>正弦交流量 $a = A_m \sin(\omega t + \varphi)$ 可表达为相量:</p> $\dot{A} = A e^{j\varphi} = A / \varphi$ <p>式中, $A = A_m / \sqrt{2}$</p>		
	相量图			
3	纯电阻 (R) 电路的分析计算	电 压	$u = U_m \sin \omega t, U_m = \sqrt{2} U$	
		电 流	$i = I_m \sin \omega t, I_m = \sqrt{2} I$	
		电 流 电 压 关 系	瞬时值	$u = iR, \text{ 或 } i = u/R$
			有效值	$U = IR, \text{ 或 } I = U/R$
			相 量	$\dot{U} = \dot{I}R, \text{ 或 } \dot{I} = \dot{U}/R$
			相量图和相位	<p>电流与电压同相位</p> 
		电 流 电 压 波 形		
		功 率	瞬 时	$p = ui$
			有 功	$P = UI = I^2 R = U^2 / R$
			无 功	$Q = 0$
视 在	$S = P$			
功率因数	$\cos \varphi = 1$			

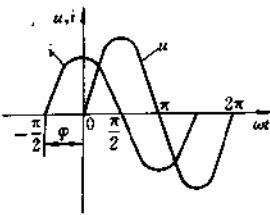
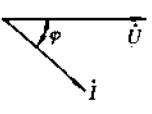
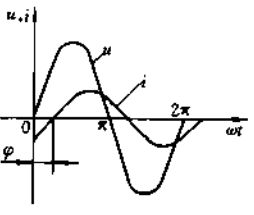


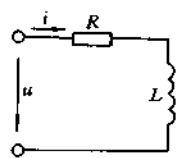
注:“有功功率”即“平均功率”

(续)

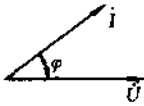
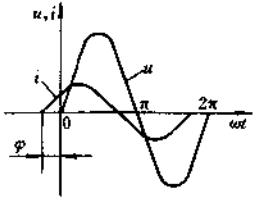
序号	项 目	说 明		
4	纯电感 (L) 电路 的分析计算	电 压	$u = U_m \sin \omega t, U_m = \sqrt{2} U$	
		电 流	$i = I_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right), I_m = \sqrt{2} I$	
		电 流 电 压 关 系	瞬时值	$u = L \frac{di}{dt}, \text{或 } i = \frac{1}{L} \int u dt$
			有效值	$I = U / X_L$
			相 量	$\dot{I} = \dot{U} / jX_L$
		相量图 和相位	电流滞后于电压 $\frac{\pi}{2}$ 	
				
		电 流 电 压 波 形		
			功 率	瞬 时	$p = ui$
		有 功		$P = 0$
		无 功		$Q = UI = I^2 X_L = U^2 / X_L$
视 在	$S = Q$			
功率因数	$\cos \varphi = 0$			
5	纯电容 (C) 电路 的分析计算	电 压	$u = U_m \sin \omega t, U_m = \sqrt{2} U$	
		电 流	$i = I_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right), I_m = \sqrt{2} I$	
		电 流 电 压 关 系	瞬时值	$u = \frac{1}{C} \int i dt, \text{或 } i = C \frac{du}{dt}$
			有效值	$I = U / X_C$
			相 量	$\dot{I} = \dot{U} / (-jX_C)$
		相量图 和相位	电流超前于电压 $\frac{\pi}{2}$ 	
				

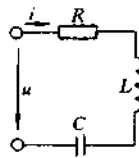
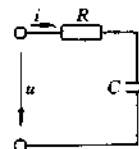
(续)

序号	项 目		说 明	
5	纯电容 (C) 电路 的分析计算	电流电压关系		
		功 率	瞬 时	$p = ui$
			有 功	$P = 0$
			无 功	$Q = UI = I^2 X_C = U^2 / X_C$
			视 在	$S = Q$
		功率因数	$\cos\varphi = 0$	
6	电阻与 电感 (R- L) 串联电 路的分析 计算	电 压	$u = U_m \sin\omega t, U_m = \sqrt{2} U$	
		电 流	$i = I_m \sin(\omega t - \varphi)$ $I_m = \sqrt{2} I, \varphi = \arctan \frac{X_L}{R}$	
		有效值	$I = U / |Z|, |Z| = \sqrt{R^2 + X_L^2}$	
			$\dot{i} = \dot{U} / Z, Z = R + jX_L = |Z| e^{j\varphi}$	
		相量图 和相位	电流滞后于电压一个相位 φ	
				
		电流电压关系		
		功 率	瞬 时	$p = ui$
			有 功	$P = UI \cos\varphi$
			无 功	$Q = UI \sin\varphi$
视 在	$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = P / \cos\varphi = UI$			
复[功率]	$\bar{S} = \dot{U} \dot{i} = P + jQ$			
功率因数	$\cos\varphi = P/S$			



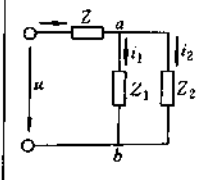
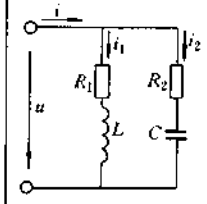
(续)

序号	项 目	说 明		
7	电阻与电容 (R-C) 串联电路的分析计算	电 压	$u = U_m \sin \omega t, U_m = \sqrt{2} U$	
		电 流	$i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$ $I_m = \sqrt{2} I, \varphi = \arctan \frac{X_C}{R}$	
		有效值	$I = U/|Z|, |Z| = \sqrt{R^2 + X_C^2}$	
			相 量	$\dot{i} = \dot{U}/Z, Z = R - jX_C = |Z|e^{-j\varphi}$
		相量图和相位	电流超前于电压一个相位 φ	
				
		电流电压波形		
		功 率	瞬 时	$p = ui$
			有 功	$P = UI \cos \varphi$
			无 功	$Q = UI \sin \varphi$
			视 在	$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = P / \cos \varphi = UI$
			复[功率]	$\vec{S} = \dot{U} \dot{i}^* = P + jQ$
功率因数	$\cos \varphi = P/S$			
8	电阻、电感、电容 (R-L-C) 串联电路的分析计算	电 压	$u = U_m \sin \omega t, U_m = \sqrt{2} U$	
		电 流	$i = I_m \sin(\omega t - \varphi)$ $I_m = \sqrt{2} I, \varphi = \arctan \frac{X_L - X_C}{R}$	
		有效值	$I = U/|Z|, |Z| = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$	
			相 量	$\dot{i} = \dot{U}/Z, Z = R + j(X_L - X_C) = |Z|e^{j\varphi}$
		相 位	$X_L > X_C$	$\varphi > 0$, 电流滞后电压 φ 角, 电路呈感性, 其电流电压曲线类似 R-L 电路的曲线
			$X_L < X_C$	$\varphi < 0$, 电流超前电压 φ 角, 电路呈容性, 其电流电压曲线类似 R-C 电路的曲线
		功 率	瞬 时	$p = ui$



(续)

序号	项 目	说 明
8	电阻、电感、电容 (R-L-C) 串联电路的分析计算	有功 $P=UI\cos\varphi$
		无功 $Q=UI\sin\varphi$
		视在 $S=\sqrt{P^2+Q^2}=P/\cos\varphi=UI$
		复[功率] $\bar{S}=P+jQ(X_L>X_C)$, 或 $\bar{S}=P-jQ(X_L<X_C)$
		功率因数 $\cos\varphi=P/S$
9	阻抗并联电路的分析计算	<p>可先按各条阻抗串联的支路分别计算出各支路电流 i_1, i_2, \dots, 然后求总电流</p> $i=i_1+i_2+\dots$ <p>或</p> $\dot{I}=\dot{I}_1+\dot{I}_2+\dots$
10	阻抗串并联电路的分析计算	<p>可先计算等效总阻抗, 求出总电流 \dot{I}, 然后计算电压 \dot{U}_{ab}, 最后求分支电流 \dot{I}_1, \dot{I}_2</p>

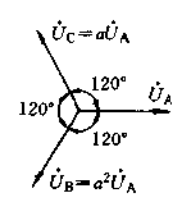
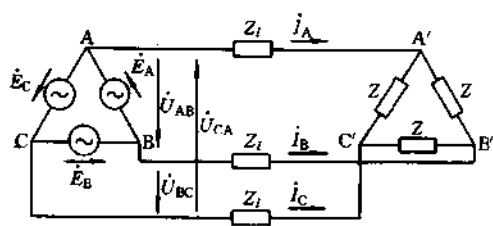


2. 三相正弦交流电路的分析计算 如表 JC6-10 所示。三相相序代号仍采用 A、B、C, 以便相量图与电路图相对应。

表 JC6-10 三相正弦交流电路的分析计算

序号	项 目	说 明
1	三相正弦交流电动势	<p>瞬时值</p> $e_A = E_m \sin \omega t$ $e_B = E_m \sin(\omega t - 120^\circ)$ $e_C = E_m \sin(\omega t - 240^\circ) = E_m \sin(\omega t + 120^\circ)$
		<p>相 量</p> $\dot{E}_A = E / 0^\circ$ $\dot{E}_B = E / -120^\circ = a^2 \dot{E}_A$ $\dot{E}_C = E / -240^\circ = E / 120^\circ = a \dot{E}_A$ <p>式中, $a = 1 / 120^\circ = e^{j120^\circ} = \cos 120^\circ + j \sin 120^\circ$ $= -\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2}$ 称为“单位相量算子”</p>
		<p>波形图</p>

(续)

序号	项 目	说 明
2	Y-Y联结的对称三相电路的分析计算	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;"> <p>①线电压与相电压关系(不论对称与否)</p> $\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B, \dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C, \dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A$ <p>②各线电压之间的关系(不论对称与否)</p> $\dot{U}_{AB} + \dot{U}_{BC} + \dot{U}_{CA} = 0$ <p>③三相电压对称时各相电压之间的关系 $U_A = U_B = U_C$, 互差 120° 相位, 即</p> $\dot{U}_B = a^2 \dot{U}_A, \dot{U}_C = a \dot{U}_A$ <p>④三相电压对称时线电压与相电压关系</p> $U_l = \sqrt{3} U_p$ </div> <div style="width: 30%; text-align: center;">  </div> <div style="width: 30%;"> <p>①线电流就是相电流, 即</p> $I_l = I_p$ <p>②有中性线(N线)时各相电流之间关系(不论对称与否)</p> $\dot{i}_A + \dot{i}_B + \dot{i}_C = \dot{i}_N$ <p>③无中性线(无N线)时各相电流之间关系(不论对称与否)</p> $\dot{i}_A + \dot{i}_B + \dot{i}_C = 0$ <p>④对称三相电路的电流计算</p> $I_A = I_B = I_C = \frac{U_p}{|Z_z|} = \frac{U_l}{\sqrt{3} |Z_z|}$ <p>式中, $|Z_z| = \sqrt{(R_l + R)^2 + (X_l + X)^2}$</p> $I_N = 0$ $\dot{i}_A = \frac{\dot{U}_A}{Z_l + Z}, \dot{i}_B = \frac{\dot{U}_B}{Z_l + Z} = a^2 \dot{i}_A$ $\dot{i}_C = \frac{\dot{U}_C}{Z_l + Z} = a \dot{i}_A$ </div> </div>
3	Δ - Δ 联结的对称三相电路的分析计算	

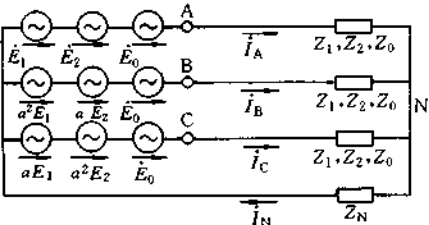
(续)

序号	项 目	说 明
3	电 压	①线电压就是相电压,即 $U_l = U_p$ ②各线电压之间的关系(不论对称与否) $\dot{U}_{AB} + \dot{U}_{BC} + \dot{U}_{CA} = 0$
	电 流	①线电流与相电流关系(不论对称与否) $\dot{I}_A = \dot{I}_{BA} - \dot{I}_{AC} = \dot{I}_{A'B'} - \dot{I}_{C'A'}$ $\dot{I}_B = \dot{I}_{CB} - \dot{I}_{BA} = \dot{I}_{B'C'} - \dot{I}_{A'B'}$ $\dot{I}_C = \dot{I}_{AC} - \dot{I}_{CB} = \dot{I}_{C'A'} - \dot{I}_{B'C'}$ ②各线电流之间的关系(不论对称与否) $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$ ③对称三相电路中的线电流与相电流关系 $I_l = \sqrt{3} I_p$ ④忽略线路阻抗($Z_l = 0$)的对称三相电路中负荷相电流的计算 $\dot{I}_{A'B'} = \frac{\dot{U}_{A'B'}}{Z} = \frac{\dot{U}_{AB}}{Z}$ $\dot{I}_{B'C'} = \frac{\dot{U}_{B'C'}}{Z} = a^2 \dot{I}_{A'B'}$ $\dot{I}_{C'A'} = \frac{\dot{U}_{C'A'}}{Z} = a \dot{I}_{A'B'}$ ⑤对称三相电路中如计及线路阻抗,则 $\dot{U}_{A'B'} \neq \dot{U}_{AB}$,可将 Δ - Δ 联的电路按下图变换为 Y - Y 联的电路,按 Y - Y 联电路计算
	Δ - Δ 联结变换为 Y - Y 联结电路	
不 对 称 三 相 电 路 的 分 析 计 算	电 路 图 	
	中 性 线 电 压	$\dot{U}_{N'N} = \frac{Y_A \dot{E}_A + Y_B \dot{E}_B + Y_C \dot{E}_C}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_N}$ 式中 $Y_A = \frac{1}{Z_{lA} + Z_A}$, $Y_B = \frac{1}{Z_{lB} + Z_B}$, $Y_C = \frac{1}{Z_{lC} + Z_C}$, $Y_N = \frac{1}{Z_N}$ (如无中性线,则 $Y_N = 0$)

(续)

序号	项 目	说 明
4	不对称三相电路的分析计算	$\dot{I}_A = Y_A(\dot{E}_A - \dot{U}_{N'N})$ $\dot{I}_B = Y_B(\dot{E}_B - \dot{U}_{N'N})$ $\dot{I}_C = Y_C(\dot{E}_C - \dot{U}_{N'N})$ $\dot{I}_N = Y_N \dot{U}_{N'N} \text{ (如无中性线, 则 } \dot{I}_N = 0 \text{)}$
	负荷端电压	$\dot{U}_{A'} = \dot{I}_A Z_A, \dot{U}_{B'} = \dot{I}_B Z_B, \dot{U}_{C'} = \dot{I}_C Z_C$
5	适用范围	用于分析计算不对称三相电路, 特别在电路中存在旋转电机时, 对称分量法更是不可缺少的
	基本内容	线性的三相电路, 可利用线性电路的叠加原理, 将不对称的三相电压(或电流)分解为正序、负序和零序三组对称分量分别计算, 然后合成, 如下所示
	对称分量及其合成的相量图	<p>a) 正序分量 b) 负序分量 c) 零序分量 d) 分量合成</p>
	对称分量计算公式	$\dot{A}_1 = \frac{1}{3}(\dot{A} + a\dot{B} + a^2\dot{C})$ $\dot{A}_2 = \frac{1}{3}(\dot{A} + a^2\dot{B} + a\dot{C})$ $\dot{A}_0 = \frac{1}{3}(\dot{A} + \dot{B} + \dot{C})$
	分量合成计算公式	$\dot{A} = \dot{A}_1 + \dot{A}_2 + \dot{A}_0$ $\dot{B} = \dot{B}_1 + \dot{B}_2 + \dot{B}_0 = a^2\dot{A}_1 + a\dot{A}_2 + \dot{A}_0$ $\dot{C} = \dot{C}_1 + \dot{C}_2 + \dot{C}_0 = a\dot{A}_1 + a^2\dot{A}_2 + \dot{A}_0$
6	三相电路中电压、电流对称分量的分析	<p>线电压 其中不含零序分量</p> <p>三线制线电流 其中不含零序分量</p> <p>负荷阻抗为Y联结时</p> $\textcircled{1} \dot{U}_{A'B_1} = \sqrt{3} \dot{U}_{A_1} / 30^\circ$ $\textcircled{2} \dot{U}_{A'B_2} = \sqrt{3} \dot{U}_{A_2} / 30^\circ$ <p>③线电压对称时, 相电压中不含负序分量</p> <p>④无中性线且线电压不对称时, 如负荷阻抗对称, 则相电压中不含零序分量; 如负荷阻抗不对称, 则相电压含有零序分量</p> <p>⑤有中性线时, 中性线电流为线电流中零序分量的3倍, 即</p> $\dot{I}_N = 3\dot{I}_0$

(续)

序号	项 目	说 明	
6	三相电路中电压、电流对称分量的分析 负荷阻抗为 Δ 联结时	$\textcircled{1} \dot{I}_{A1} = \sqrt{3} \dot{I}_{A'B1} / -30^\circ$ $\textcircled{2} \dot{I}_{A2} = \sqrt{3} \dot{I}_{A'B2} / 30^\circ$ $\textcircled{3} \text{线电压对称时, 相电流中不含负序分量}$ $\textcircled{4} \text{相电压不对称而负荷阻抗对称时, 则相电流中不含零序分量}$	
7	不对称电压作用于对称负荷的分析计算		
	不同性质负荷的阻抗对称分量	$\textcircled{1} \text{没有互感的静止对称负荷} \quad Z_1 = Z_2 = Z_0$ $\textcircled{2} \text{含有互感的静止对称负荷} \quad Z_1 = Z_2 \neq Z_0$ $\textcircled{3} \text{含有旋转电机的对称负荷} \quad Z_1 \neq Z_2 \neq Z_0$	
	电流计算公式	$\dot{I}_A = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_0 = \frac{\dot{E}_1}{Z_1} + \frac{\dot{E}_2}{Z_2} + \frac{\dot{E}_0}{Z_0 + 3Z_N}$ $\dot{I}_B = a^2 \dot{I}_1 + a \dot{I}_2 + \dot{I}_0 = \frac{a^2 \dot{E}_1}{Z_1} + \frac{a \dot{E}_2}{Z_2} + \frac{\dot{E}_0}{Z_0 + 3Z_N}$ $\dot{I}_C = a \dot{I}_1 + a^2 \dot{I}_2 + \dot{I}_0 = \frac{a \dot{E}_1}{Z_1} + \frac{a^2 \dot{E}_2}{Z_2} + \frac{\dot{E}_0}{Z_0 + 3Z_N}$ $\dot{I}_N = \frac{3\dot{E}_0}{Z_0 + 3Z_N}$	
8	三相电路的功率	有功	$P = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos\varphi = \sqrt{3} U_l I_l \cos\varphi$
		无功	$Q = 3U_{\phi} I_{\phi} \sin\varphi = \sqrt{3} U_l I_l \sin\varphi$
		视在	$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 3U_{\phi} I_{\phi} = \sqrt{3} U_l I_l$
		功率因数	$\cos\varphi = P/S$
		有功	$P = P_A + P_B + P_C$
		无功	$Q = Q_A + Q_B + Q_C$
		视在	$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

3. 正弦交流电路的谐振 如表 JC6-11 所示。

表 JC6-11 正弦交流电路的谐振

序号	项目	R、L、C 串联谐振	R、L、C 并联谐振	电感线圈与电容器并联谐振
1	电路图			
2	谐振条件	即 $X_L = X_C$ $\omega L = \frac{1}{\omega C}$	或 即 $B_L = B_C$ $X_L = X_C$ $\omega L = \frac{1}{\omega C}$	$B_1 = B_2$ 或 $\frac{X_L}{R_1^2 + X_L^2} = \frac{X_C}{R_2^2 + X_C^2}$ 即 $\frac{\omega L}{R_1^2 + (\omega L)^2} = \frac{\frac{1}{\omega C}}{R_2^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$
3	谐振角频率	$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$	$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$	$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{\frac{\frac{L}{C} - R_1^2}{\frac{L}{C} - R_2^2}}$
4	谐振频率	$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$	$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$	$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \sqrt{\frac{\frac{L}{C} - R_1^2}{\frac{L}{C} - R_2^2}}$
5	谐振阻抗或谐振导纳	$Z = R + jX = R$	$Y = G - jB = G = \frac{1}{R}$	$Y = G - jB = G$ $= \frac{R_1}{R_1^2 + X_L^2} + \frac{R_2}{R_2^2 + X_C^2}$
6	谐振电路性质	电路呈电阻性, 即电流与外施电压同相	电路呈电阻性, 即电流与外施电压同相	电路呈电阻性, 即电流与外施电压同相
7	相量图			
8	谐振特征说明	①谐振时 $\dot{U}_L = -\dot{U}_C, \dot{U} = \dot{U}_R$, 因此串联谐振又称“电压谐振” ②谐振时阻抗达最小值, $Z = R$, 电流达最大值, 总电压达最小值 ③谐振电路的品质因数	①谐振时 $\dot{i}_L = -\dot{i}_C, \dot{i} = \dot{i}_R$ 因此并联谐振又称“电流谐振” ②谐振时导纳达最小值, $Y = G = 1/R$, 总电流达最小值, 电压达最大值 ③谐振电路的品质因数	①谐振时两支路电流的无功分量相等而反向, 总电流 \dot{i} 为两支路电流的有功分量之和, 因此也称为“电流谐振” ②谐振时导纳也达最小值, 总电流也达最小值

(续)

序号	项目	R、L、C串联谐振	R、L、C并联谐振	电感线圈与电容器并联谐振
8	谐振特征说明	$Q = \frac{U_L}{U} = \frac{\omega_0 L}{R} = \sqrt{\frac{L}{C}} / R$ <p>当 $Q \gg 1$, 或 $\sqrt{\frac{L}{C}} \gg R$ 时, $U_L = U_C \gg U$</p> <p>这说明在供电系统中发生串联谐振时, 可产生危险的过电压而使设备绝缘击穿</p>	$Q = \frac{I_C}{I} = \frac{\omega_0 C}{G} = \sqrt{\frac{C}{L}} / G$ <p>当 $Q \gg 1$, 或 $\sqrt{\frac{C}{L}} \gg G$ 时, $I_L = I_C \gg I$</p> <p>这说明在供电系统中发生并联谐振时, 可产生危险的过电流而使设备过热烧毁</p>	<p>③ 当 $R_1 > \sqrt{\frac{L}{C}} > R_2$ 或 $R_1 < \sqrt{\frac{L}{C}} < R_2$ 时, 不会发生谐振</p> <p>④ 当 $R_1 = R_2 = \sqrt{\frac{L}{C}}$ 时, 任何频率下都谐振</p> <p>⑤ 当 $R_1 = R_2 \neq \sqrt{\frac{L}{C}}$ 时, $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$</p> <p>⑥ 当 $\sqrt{\frac{L}{C}} \gg R_1, R_2$ 时, $\omega_0 \approx \frac{1}{\sqrt{LC}}$, 这时品质因数 $Q = \frac{\omega_0 L}{R_1 + R_2}$</p>

(六) 非正弦交流电路的分析计算

1. 非正弦交流电压、电流产生的原因 如表 JC6-12 所示。

表 JC6-12 非正弦交流电压、电流产生的原因

序号	产生原因	说 明
1	电源电动势为非正弦交流	由于发电机气隙中磁感应强度并非完全按正弦规律分布, 因此感生的电动势并非随时间严格按正弦规律变化
2	电路中有不同频率的正弦电动势作用	线性电路中有几个不同频率的正弦电动势作用时, 也使电路中的电压和电流为非正弦的
3	电路中含有非线性元件时	正弦电动势作用在含有非线性元件的电路中时, 使电路中产生非正弦电流

注: 在电力系统中, 发电机发出的电动势基本上可看作是正弦的, 不同频率的正弦电动势作用于电路的情况也不多, 而电力系统中出现非正弦电流、电压的主要原因在于系统中存在着大量非线性元件如变压器、铁心线圈、整流设备、感应电动机、感应电炉、电弧炉及荧光灯之类的气体放电灯等, 它们都将使电力系统中出现非正弦电流、电压。

2. 非正弦周期量的分解和计算 如表 JC6-13 所示。非正弦周期量的这种分析亦称“频域分析”。

表 JC6-13 非正弦周期量的分解和计算

序号	项 目	说 明
1	非正弦周期量的分解	非正弦周期量(电动势、电压、电流)均可分解为傅里叶级数(参看表 JC1-30 和表 JC1-31);

(续)

序号	项 目	说 明
1	非正弦周期量的分解	$f(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (B_{mk} \sin k\omega t + C_{mk} \cos k\omega t)$ 或 $f(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_{mk} \sin(k\omega t + \phi_k)$ 式中, A_0 为直流分量; $A_{m1} \sin(\omega t + \phi_1)$ 为基波分量; $A_{m2} \sin(2\omega t + \phi_2)$ 为二次谐波分量; $A_{mk} \sin(k\omega t + \phi_k)$ 为 k 次谐波分量; $A_{mk} = \sqrt{B_{mk}^2 + C_{mk}^2}$ 为 k 次谐波的幅值; $\phi_k = \arctan \frac{C_{mk}}{B_{mk}}$ 为 k 次谐波的初相角 凡 $k \geq 2$ 的各次谐波, 总称为“高次谐波”
2	非正弦周期量有效值的计算	$A = \sqrt{A_0^2 + A_1^2 + A_2^2 + \dots + A_k^2 + \dots}$ 式中 A_0 为直流分量; A_1, A_2, \dots, A_k 为分别为基波、二次谐波、 \dots k 次谐波的有效值
3	非正弦周期量平均值的计算	$A_{av} = A_0$ 式中, A_0 为直流分量
4	非正弦周期量畸变率 (distortion ratio) 的计算	一般用其基波有效值 A_1 与整个周期量的有效值 A 之比来表示 $K_d = \frac{A_1}{A}$

3. 非正弦交流电路的计算 如表 JC6-14 所示。

表 JC6-14 非正弦交流电路的计算

序号	项 目	计 算 公 式 和 说 明
1	线性非正弦电路中 k 次谐波阻抗的计算	电阻 $R = \text{常数}$ 感抗 $X_{Lk} = k\omega L$ 容抗 $X_{Ck} = \frac{1}{k\omega C}$ 式中, ω 为基波的角频率
2	线性非正弦电路的计算步骤	①将电动势分解为直流分量与各次谐波分量之和; 高次谐波取到哪一次为止, 视所需精度而定 ②将电动势的各次谐波分别作用于该线性电路, 应用“符号法”(参看表 JC6-9 序号 2) 分别进行计算 ③应用“叠加原理”(参看表 JC6-8 序号 4) 将分别计算的结果进行叠加, 叠加时应采用各次谐波的瞬时值
3	非正弦交流电路的电流	电流瞬时值 $i = I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} I_{mk} \sin(k\omega t + \phi_{ik})$ 式中, I_0 为电流的直流分量; I_{mk} 为电流的 k 次谐波幅值; ϕ_{ik} 为电流的 k 次谐波初相角
	电流有效值	$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_k^2 + \dots}$ 式中, I_1, I_2, \dots, I_k 分别为基波、二次谐波、 \dots k 次谐波的电流有效值
4	非正弦交流电路的电压	电压瞬时值 $u = U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_{mk} \sin(k\omega t + \phi_{uk})$ 式中, U_0 为电压的直流分量; U_{mk} 为电压的 k 次谐波幅值; ϕ_{uk} 为电压的 k 次谐波初相角
	电压有效值	$U = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_k^2 + \dots}$ 式中, U_1, U_2, \dots, U_k 分别为基波、二次谐波、 \dots k 次谐波的电压有效值

(续)

序号	项 目	计 算 公 式 和 说 明
5	瞬时功率	$p=ui$ 式中, u 为瞬时电压; i 为瞬时电流
	有功功率	$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_k + \dots$ 式中, P_0 为直流分量的功率; P_1, P_2, \dots, P_k 分别为基波、二次谐波、...、 k 次谐波的有功功率
	无功功率	$Q = \sum_{k=1}^{\infty} U_k I_k \sin \varphi_k = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_k + \dots$ 式中, U_k 为 k 次谐波的电压有效值; I_k 为 k 次谐波的电流有效值; φ_k 为 k 次谐波的电压与电流间相位差; Q_1, Q_2, Q_k 分别为基波、二次谐波、...、 k 次谐波的无功功率
	视在功率	$S = UI = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots} \cdot \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots}$ 式中, U 为非正弦交流电路的电压有效值; I 为非正弦交流电路的电流有效值
6	非正弦交流电路的功率因数	$\cos \varphi = P/S = P/UI$ 此处的功率因数角 φ 不同于正弦电路的功率因数角 φ , 不是阻抗角

4. 几种特定非正弦波形的谐波特点 如表 JC6-15 所示。

表 JC6-15 几种特定非正弦波形的谐波特点

序号	非 正 弦 波 形	傅 里 叶 级 数	说 明
1		$f(t) = A_{m1} \sin(\omega t + \phi_1) + A_{m3} \sin(3\omega t + \phi_3) + \dots + A_{mk} \sin(k\omega t + \phi_k) + \dots$ (k 为奇数)	①前后半波波形相同, 符号相反, 即 $f(t) = -f\left(t + \frac{T}{2}\right)$ ②无偶次谐波分量和直流分量, 只有奇次谐波 ③交流发电机由于其结构对称, 因此其电动势波形均属此类
2		$f(t) = A_0 + A_{m2} \sin(2\omega t + \phi_2) + A_{m4} \sin(4\omega t + \phi_4) + \dots + A_{mk} \sin(k\omega t + \phi_k) + \dots$ (k 为偶数)	①前后半波波形完全相同, 即 $f(t) = f\left(t + \frac{T}{2}\right)$ ②无奇次谐波分量 ③在单相整流电路中常出现此类波形
3		$f(t) = B_{m1} \sin \omega t + B_{m2} \sin 2\omega t + \dots + B_{mk} \sin k\omega t + \dots$ (k 为正整数)	①波形对称于直角坐标原点, 即 $f(t) = -f(-t)$ ②仅含正弦项, 不含余弦项和直流分量 ③在倍频电路中常出现此类波形, 波形性质与时间起点有关

(续)

序号	非正弦波形	傅里叶级数	说明
4		$f(t) = C_{m1}\cos\omega t + C_{m2}\cos 2\omega t + \dots + C_{nk}\cos k\omega t + \dots (k \text{ 为正整数})$	<p>① 波形对称于纵轴, 即 $f(t) = f(-t)$</p> <p>② 仅含余弦项, 不含正弦项和直流分量</p> <p>③ 在含有铁心线圈的电路中常出现此类近似波形, 波形性质亦与时间起点有关</p>

(七) 线性电路过渡过程的分析计算

1. 电路产生过渡过程的原因及换路定律 如表 JC6-16 所示。

表 JC6-16 电路产生过渡过程的原因及换路定律

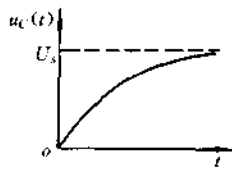
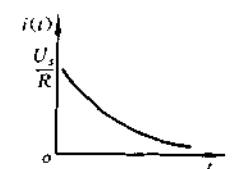
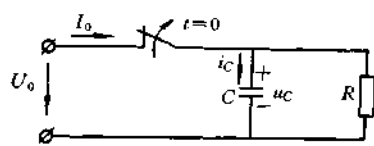
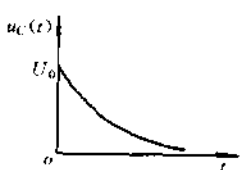
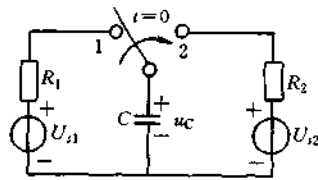
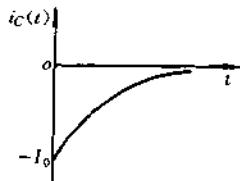
序号	项 目	说 明
1	电路产生过渡过程的原因	如果电路内含有储能元件 L 或 C , 则在电路工作状态发生变化时, 由于能量不能突变, 即能量的积累和释放都需要一定的时间, 因此在电路原稳态与新稳态之间必然存在一定的过渡过程, 或称“暂态过程”或“瞬变过程”
2	换路定律	电容 换路前后, 即从 $t=0^-$ 到 0^+ , 电容上的电压不能突变, 即 $u_C(0^-) = u_C(0^+)$ 注意: 电容电流可以突变
		电感 换路前后, 即从 $t=0^-$ 到 0^+ , 电感中的电流不能突变, 即 $i_L(0^-) = i_L(0^+)$ 注意: 电感电压可以突变

2. 一阶线性电路的过渡过程分析计算 如表 JC6-17 所示。线性电路的“过渡过程分析”亦称“暂态时域分析”。

表 JC6-17 一阶线性电路的过渡过程分析计算

序号	项 目	说 明
1	“一阶线性电路”的含义	指只含有一个储能元件 L 或 C 的线性电路。由于其回路的电流或电压方程均为一阶微分方程, 故名。一阶线性电路的过渡过程可用“三要素”法便捷地确定
2	确定电路过渡过程(“全响应”)的“三要素”	方程形式 $f(t) = \underbrace{f(\infty)}_{\text{稳态分量}} + \underbrace{[f(0^+) - f(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}}}_{\text{暂态分量}}$
		三要素 ① $f(\infty)$, 为电流或电压的稳态值 ② $f(0^+)$, 为电流或电压的初始值 ③ $\tau = L/R$ 或 $\tau = RC$, 为电路的时间常数
3	RC 电路在零状态时接入直流电压的过渡过程(“零状态响应”)	条件: $t=0^-$ 时, $u_C(0^-) = 0$

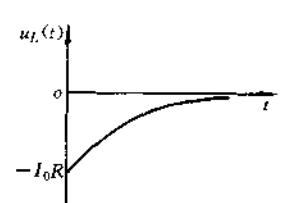
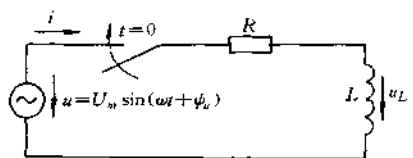
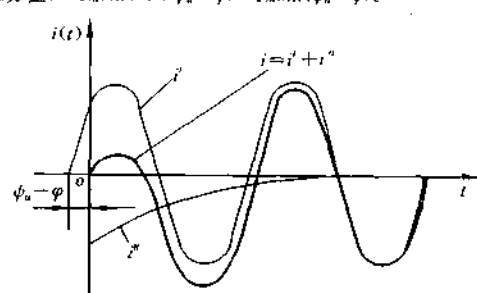
(续)

序号	项 目	说 明
3	RC 电路在零状态时接入直流电压的过渡过程 (“零状态响应”)	<p>电压方程及其波形图</p> $u_C(t) = \frac{U_s}{R} + [0 - \frac{U_s}{R}]e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{U_s}{R}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ <p>(稳态分量) (暂态分量)</p> <p>式中 $\tau = RC$</p> 
	RC 电路在零状态时接入直流电压的过渡过程 (“零状态响应”)	<p>电流方程及其波形图</p> $i(t) = \frac{U_s}{R}e^{-\frac{t}{\tau}}$ <p>式中 $\tau = RC$</p> 
4	RC 电路短接的过渡过程 (“零输入响应”)	<p>电路图</p> <p>条件: $t=0^-$ 时, $u_C(0^-) = U_0$</p> 
	RC 电路短接的过渡过程 (“零输入响应”)	<p>电压方程及其波形图</p> $u_C(t) = U_0e^{-\frac{t}{\tau}}$ <p>式中 $\tau = RC$</p> 
5	RC 电路在非零状态时接入直流电压的过渡过程 (“全响应”)	<p>电路图</p> <p>条件: ① $t=0^-$ 时, $i_C(0^-) = I_0$ ② $U_{s2} > U_{s1}$</p> 
	RC 电路在非零状态时接入直流电压的过渡过程 (“全响应”)	<p>电流方程及其波形图</p> $i_C(t) = -I_0e^{-\frac{t}{\tau}}$ <p>式中 $\tau = RC$</p> 

(续)

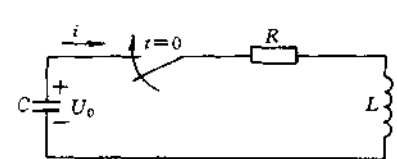
序号	项 目	说 明
5	RC 电路在非零状态时接入直流电压的过渡过程 (“全响应”) 电压方程及其波形图	$u_C(t) = U_{11}e^{-\frac{t}{\tau}} - U_{12}e^{-\frac{t}{\tau}} + U_{12}$ <p>(暂态分量) (稳态分量)</p> <p>式中 $\tau = R_2C$</p> <p>全响应 = 零状态响应 + 零输入响应 (应用叠加原理)</p>
6	RL 电路在零状态时接入直流电压的过渡过程 (“零状态响应”) 电路图	
		<p>电流方程及其波形图</p> $i(t) = \frac{U_s}{R}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ <p>式中 $\tau = \frac{L}{R}$</p>
7	RL 电路短接的过渡过程 (“零输入响应”) 电压方程及其波形图	
		<p>电压方程及其波形图</p> $u_L(t) = U_s e^{-\frac{t}{\tau}}$ <p>式中 $\tau = \frac{L}{R}$</p>
7	RL 电路短接的过渡过程 (“零输入响应”) 电路图	
		<p>电流方程及其波形图</p> $i(t) = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$ <p>式中 $\tau = \frac{L}{R}$</p>

(续)

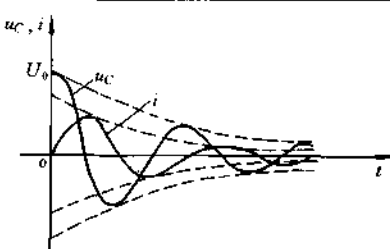
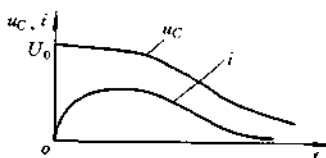
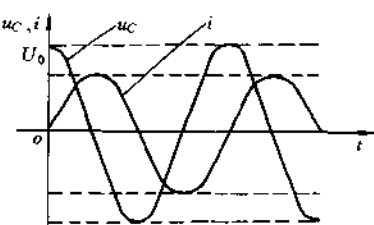
序号	项 目	说 明
7	RL 电路短接的过渡过程 (“零输入响应”) 电压方程及其波形图	$u_L(t) = -I_0 R e^{-\frac{t}{\tau}}$ $\text{式中 } \tau = \frac{L}{R}$ 
8	RL 电路在零状态时接通正弦交流电压的过渡过程 (“零状态响应”) 电路图	
	电流方程及其波形图	$i = i' (\text{稳态分量}) + i'' (\text{暂态分量}) = I_m \sin(\omega t + \phi_u - \varphi) - I_m \sin(\phi_u - \varphi) e^{-\frac{t}{\tau}}$ $\text{式中 } \tau = \frac{L}{R}, \varphi = \arctan \frac{\omega L}{R}$ 

3. 二阶线性电路的过渡过程分析计算 如图 JC6-18 所示。

表 JC6-18 二阶线性电路的过渡过程分析计算

序号	项 目	说 明
1	“二阶线性电路”的含义	指 RLC 线性电路。由于其电流方程为二阶微分方程,故名
2	RLC 电路在 $U_C = U_0$ 时接通放电的电路图(示例)	
3	根据 KVL 写出电路的微分方程	$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i dt = 0$ 或 $\frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di}{dt} + \frac{1}{LC} i = 0 (\text{二阶齐次微分方程})$
4	上述微分方程的特征方程	$p^2 + \frac{R}{L} p + \frac{1}{LC} = 0$

(续)

序号	项 目	说 明
5	上述方程的特征根	<p>令</p> $p_{1,2} = -\frac{R}{2L} \pm \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}}$ <p>则</p> $\delta = \frac{R}{2L}, \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$ $p_1 = -\delta + \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}$ $p_2 = -\delta - \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}$
6	$\delta < \omega_0$ 即 $R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 时的电路过渡过程	 <p>属“欠阻尼衰减振荡放电”</p>
7	$\delta \geq \omega_0$, 即 $R \geq 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 时的电路过渡过程	 <p>属“过阻尼非周期衰减放电”</p>
8	$R = 0$ 时的电路过渡过程	 <p>属“无阻尼等幅振荡”</p>

注：这里仅举 RLC 放电电路为例，其余类型的 RLC 电路的分析从略。

(八) 磁路的基本定律

磁路的基本定律，如表 JC6-19 所示。

表 JC6-19 磁路的基本定律

序号	名 称	说 明
1	磁路欧姆定律	<p>表征磁路中磁通与磁动势间存在着正比关系 $\Phi = \frac{IN}{R_m}$</p> <p>式中，$R_m = \frac{l}{\mu S}$，为磁路的磁阻，这里 l 为磁路的长度，S 为磁路的截面积，μ 为磁路的磁导率。磁路欧姆定律与电路欧姆定律相对应</p>

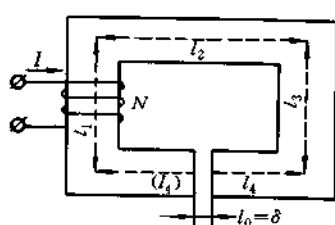
(续)

序号	名称	说明
2	磁路基尔霍夫第一定律	表征“磁通连续性”原理的定律,即穿过任一闭合面的磁通代数和为零 $\sum \Phi = 0$ 磁路基尔霍夫第一定律与电路的基尔霍夫第一定律相对应
3	磁路基尔霍夫第二定律	又称“安培环路定律”,即沿任一闭合回路的所有各段磁压(磁位降)的代数和等于该回路中磁动势的代数和 $\sum(Hl) = \sum(IN)$ 式中, H 为磁场强度, $H = B/\mu$ 磁路基尔霍夫第二定律与电路的基尔霍夫第二定律相对应

(九) 磁路的计算

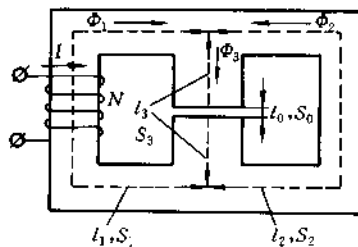
磁路的计算,如表 JC6-20 所示。

表 JC6-20 磁路的计算

序号	项目	说明
1	无分支磁路的计算	已知磁通求磁动势(正面问题求解计算) 计算步骤: ①按磁路中各部分材料和截面的不同进行分段(各段的材料相同、截面相等),如下图所示  ②计算各段的截面和平均长度。在计算截面时,对厚 0.5mm 硅钢片迭成的铁心,需乘以 0.92 左右的填充系数;对厚 0.35mm 硅钢片迭成的铁心,需乘以 0.86 左右的填充系数 ③根据已知磁通 Φ 求出各段的磁感应强度 $B = \Phi/S$ ④根据每一段的磁感应强度计算磁场强度。对于铁磁材料可由基本磁化曲线查出对应于 B 的 H 。对于空气隙 $(H_0)_{A/cm} = 0.8(B_0)_{Gs}$ ⑤计算每一段的磁压 $H_1l_1, H_2l_2, \dots, H_0l_0$ 等 ⑥根据磁路基尔霍夫第二定律求出所需的磁动势。磁动势除以线圈匝数,即可求得磁化电流
2	已知磁动势求磁通(反面问题求解计算)	采用试算法。先假设一个 Φ , 按上述步骤,求出磁化电流或磁动势,与给定值比较。根据其差值,再假设另一个 Φ 重复计算……如此多次试算,直到结果与给定值的差值小到允许限度时为止

(续)

序号	项 目	说 明
3	有分支磁路的计算 已知磁通求磁动势(正面计算示例)	<p>计算步骤:</p> <p>①按给定的 Φ_3 求出 H_0l_0, H_3l_3, 然后求出</p> $H_2l_2 = H_0l_0 + H_3l_3$ <p>②由 H_2 求出 Φ_2</p> <p>③按 $\Phi_1 = \Phi_2 + \Phi_3$ 求出 Φ_1</p> <p>④由 Φ_1 求出 H_1l_1</p> <p>⑤按 $IN = H_1l_1 + H_2l_2$, 求出磁动势 IN</p>
4	已知磁动势求磁通(反面计算)	采用试算法



(十) 铁心损耗和电磁力的计算

1. 铁心线圈的功率损耗计算 如表 JC6-21 所示。

表 JC6-21 铁心线圈的功率损耗计算

序号	项 目	公 式
1	磁滞损耗的计算	<p>理论公式</p> $p_h = fV \oint HdB$ <p>式中, f 为时变磁场的频率; V 为铁心体积; $\oint HdB$ 为磁滞回线($B-H$ 回线)的环积分即其包围的面积</p>
		<p>经验公式</p> $p_h = K_h f B_m^n V$ <p>式中, K_h 为与材料性质有关的系数, 称为“施泰因梅茨系数”, 大多数材料 $K_h \approx 1.6$, 其它材料 $K_h = 1.5 \sim 2.5$, 可查有关手册; B_m 为磁感应强度的最大值; n 在 $B_m \leq 10000\text{Gs}$ 时取 1.6, 在 $B_m > 10000\text{Gs}$ 时取 2; f 和 V 的含义同上</p>
2	涡流损耗的计算	<p>理论公式</p> $p_e = \frac{4}{3} r K_f^2 f^2 B_m^2 b^2 V$ <p>式中, r 为材料的电导率; K_f 为波形系数, 正弦波取 1.11; f 为时变磁场的频率; B_m 为磁感应强度的最大值; b 为钢片厚度; V 为铁心体积</p>
		<p>经验公式</p> $p_e = K_e f^2 B_m^2 V$ <p>式中, K_e 为与材料电导率、厚度及磁通波形等有关的常数; f, B_m 及 V 的含义同上</p>
3	铁心损耗的计算	<p>理论公式</p> $p_{Fe} = p_h + p_e = K_h f B_m^{1.5 \sim 2.5} V + \frac{4}{3} r K_f^2 f^2 B_m^2 b^2 V = Af + Bf^2$ <p>式中, $A = K_h B_m^{1.5 \sim 2.5} V$; $B = \frac{4}{3} r K_f^2 B_m^2 b^2 V$</p>

(续)

序号	项 目	公 式																		
3	铁心损耗的计算	$P_{Fe} = P_{10/50} \left(\frac{B}{10000} \right)^2 \left(\frac{f}{50} \right)^{1.3}$ <p>式中, B 为磁感应强度(Gs); f 为频率(Hz); $P_{10/50}$ 为损耗系数, 指 1kg 的硅钢片在 $f=50\text{Hz}$、$B_m=10000\text{Gs}$ 时的铁损, 其值与钢片型号和厚度有关, 如附表所列; P_{Fe} 为铁心损耗(W/kg)</p> <p style="text-align: center;">附表 $P_{10/50}$ 值</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>钢片型号</th> <th>钢片厚度/mm</th> <th>$P_{10/50}$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>D12</td> <td>0.5</td> <td>2.8</td> </tr> <tr> <td>D21</td> <td>0.5</td> <td>2.5</td> </tr> <tr> <td>D31</td> <td>0.5</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>D42</td> <td>0.5</td> <td>2.4</td> </tr> <tr> <td>D44</td> <td>0.35</td> <td>1.2</td> </tr> </tbody> </table>	钢片型号	钢片厚度/mm	$P_{10/50}$	D12	0.5	2.8	D21	0.5	2.5	D31	0.5	2.0	D42	0.5	2.4	D44	0.35	1.2
钢片型号	钢片厚度/mm	$P_{10/50}$																		
D12	0.5	2.8																		
D21	0.5	2.5																		
D31	0.5	2.0																		
D42	0.5	2.4																		
D44	0.35	1.2																		

2. 电磁铁的吸力计算 如表 JC6-22 所示。

表 JC6-22 电磁铁的吸力计算

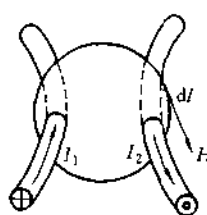
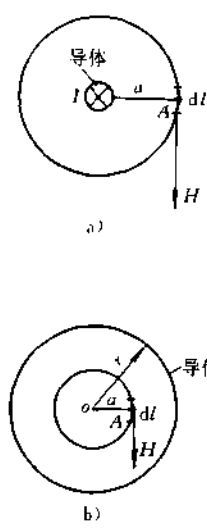
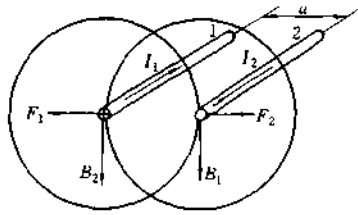
序号	项 目	公 式
1	直流电磁铁的吸力计算	$F_{DC} = 4B_0^2 S_{0z} = 4\Phi_0^2 \frac{1}{S_{0z}}$ <p>式中, B_0 为电磁铁气隙中的磁感应强度(T); Φ_0 为气隙中的磁通(Wb); S_{0z} 为电磁铁磁极端面的总截面(cm^2); F_{DC} 为电磁铁的吸力(kg)</p>
2	交流电磁铁的吸力计算	$F_{AC} = \frac{1}{2} F_{DC} = 2B_0^2 S_{0z} = 2\Phi_0^2 \frac{1}{S_{0z}}$ <p>式中各符号的含义同上</p> <p>由于交流电磁铁在交流电流经过零值时吸力为零, 而每个周波电流有两次过零, 即每个周波电磁铁吸力有两次为零, 因此交流电磁铁在工作时会发生振动和噪声。为了克服交流电磁铁的振动和噪声, 必须在交流电磁铁的磁极上, 部分地嵌入“短路环”, 使电磁吸力维持比较均衡的状态</p>

3. 两平行载流导体的互作用力计算 如表 JC6-23 所示。

表 JC6-23 两平行载流导体的互作用力计算

序号	项 目	公 式
1	载流导体在磁场中受的电磁力	<p>设长度为 l 的载流直导体放在均匀磁场 B 中, 如果电流 I 与磁感应 B 的方向间成 α 角, 则导体 l 所受的电磁力 F 的大小为</p> $F = BIl \sin \alpha$ <p>如果电流 I 与 B 垂直, 即 $\alpha = 90^\circ$, 则</p> $F = BIl$ <p>电磁力 F 的方向按左手定则(参看表 JC2-15 序号 6)确定</p>

(续)

序号	项 目	公 式
2	全电流定律	<p>磁场中沿任意闭合路径的磁压(Hl),等于该闭合路径所包围的电流代数和(ΣI),即</p> $\oint Hdl = \Sigma I$ <p>电流 I 的正负按右手螺旋定则(参看表 JC2-15 序号 8)确定. 如图所示, I_1 为正, I_2 为负, 即</p> $\oint Hdl = I_1 - I_2$ <p>上述关系称为“全电流定律”</p> 
3	载流导体的磁场	<p>①载流导体周围的磁场(图 a 的 A 点)按全电流定律得</p> $\oint Hdl = H \oint dl = H \times 2\pi a = I$ <p>即</p> $H = \frac{I}{2\pi a}$ <p>故</p> $B = \mu H = \frac{\mu I}{2\pi a}$ <p>②载流导体内部的磁场(图 b 的 A 点)</p> <p>设载流导体的半径为 r, 电流 I 在导体截面上均匀分布, 则经过 A 点的闭合回路所包围的电流为</p> $I \frac{\pi a^2}{\pi r^2} = I \frac{a^2}{r^2}$ <p>因此按全电流定律得</p> $\oint Hdl = H \oint dl = H \times 2\pi a = I \frac{a^2}{r^2}$ <p>即</p> $H = \frac{I \frac{a^2}{r^2}}{2\pi a} = \frac{Ia}{2\pi r^2}$ <p>故</p> $B = \mu H = \frac{\mu a I}{2\pi r^2}$ 
4	两平行载流导体的相互作用力	<p>导体 2 在导体 1 处产生的磁感应强度为</p> $B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi a}$ <p>因此导体 1 所受的电磁力大小为</p> $F_1 = B_2 I_1 l_1 = \mu_0 \frac{I_1 I_2}{2\pi a} l_1$ <p>同理导体 2 所受的电磁力大小为</p> $F_2 = B_1 I_2 l_2 = \mu_0 \frac{I_1 I_2}{2\pi a} l_2$  <p>式中, μ_0 为真空和空气的磁导率, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$, 因此处在空气中的两平行载流导体的相互作用力为</p> $F = 2I_1 I_2 \frac{l}{a} \times 10^{-7}$ <p>式中, I_1, I_2 的单位为 A; a 与 l 的单位同为 m 或 mm, F 的单位为 N</p> <p>在供电系统中发生短路时, 短路电流很大, 特别其最大瞬时值(称为“短路冲击电流”)者)产生的相互作用力(在供电技术中通称为“电动力”)相当大, 可使导体和设备产生机械性破坏, 因此必须加以计算和校验(详见表 ZY3-10)</p>

主要参考文献

- 1 国家标准 GB/T2900.1—92. 电工术语·基本术语. 北京: 中国标准出版社, 1993
- 2 贺天枢, 赵叔玉主编译. IEC 电工电子标准术语词典. 北京: 中国标准出版社, 1992
- 3 邱关源主编. 电路. 北京: 人民教育出版社, 1978
- 4 俞大光主编. 电路及磁路. 北京: 高等教育出版社, 1986
- 5 刘介才, 欧阳珂编. 电工基础与测量 (讲义), 1972
- 6 机械工程手册、电机工程手册编委会编. 电机工程手册第1卷. 北京: 机械工业出版社, 1982
- 7 机械工程手册、电机工程手册编委会编. 电气工程师手册. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 8 中国大百科全书电工编委会编. 中国大百科全书电工卷. 北京、上海: 中国大百科全书出版社, 1992

七、电工测量基础 (JC7)

(一) 常用的电工测量名词术语

供电技术中较常用的电工测量名词术语，如表 JC7-1 所示。

表 JC7-1 常用的电工测量名词术语

序号	名词术语	含 义 说 明
1	测量 measure	指定量地确定被测的量的数值的过程
2	直接测量 direct measurement	指将被测量与标准量直接比较，或用测量仪表进行测量，直接测出被测量的数值的方法。例如用电流表测量电流，用电桥测量电阻、电感、电容等
3	间接测量 indirect measurement	指先分别直接测出与被测的量的有某种函数关系的其它量的数值，然后根据函数关系求出被测的量的数值。例如要测定某电阻器的阻值，可先直接测出加在电阻器上的端电压 U 及通过电阻器的电流 I ，然后根据 $R=U/I$ 的关系式算出电阻 R 的数值，这就是间接测量
4	测量基准 measurement standard	指用来规定、代表、保存或重现一个量的测量单位或其倍数和约数（例如标准电阻器），或一个量的已知量（例如标准电池）的测量仪表、设备或系统
5	测量仪表 measuring instrument	指用于测量目的的仪表。例如电流表、电压表等
6	测量机构 measuring mechanism	指测量仪表中将被测的量的量转换成机械运动的那部分机构（元件），亦称测量元件
7	测量设备 measuring equipment	指用于特定测量目的的测量仪表的组合，亦称测量仪器，例如电桥、示波器等
8	测量误差 measuring error	指在测量时，由于各种原因致使测量结果与被测量的实际值（或称真值）之间造成的差异。按其性质分有：系统误差、随机误差和疏失误差
9	系统误差 system error	指测量过程中产生的遵循一定规律的误差，例如测量仪表本身引起的误差及测量方法不完善引起的误差。消除系统误差的措施：①对测量仪表进行校正，精密测量时引入校正值；②正确选择合理的测量方法和测量仪表，正确安装和调整仪表，尽量消除各种外界因素所引起的系统误差
10	随机误差 random error	指外界的偶然因素如环境温度、外界电磁场及电源电压、频率等的偶然变化引起的误差。消除随机误差的措施：可采用多次重复测量。但在一般工程测量中，不计随机误差
11	疏失误差 carelessness error	指由于测量者在操作和观测中疏忽引起的误差。疏失误差应予摒弃

(续)

序号	名词术语	含 义 说 明
12	绝对误差 absolute error	指测量仪表的指示值 A 与被测量的实际值 A_0 的代数差, 即 $\Delta A = A - A_0$
13	相对误差 relative error	指测量的绝对误差 ΔA 与被测量的实际值 A_0 的百分比, 通常近似地按测量的绝对误差 ΔA 与被测量的仪表指示值 A 的百分比来计算, 即 $\gamma = \frac{\Delta A}{A_0} \times 100\% \approx \frac{\Delta A}{A} \times 100\%$
14	准确度 accuracy	它是表征测量仪表的指示值与相应的实际值 (真值) 相接近程度的一种品质。仪表的指示值越接近相应的实际值, 则仪表的准确度越高。仪表的准确度用仪表的最大绝对误差 ΔA_m 与仪表的最大量程 A_m 的百分比来量度, 即 $\gamma_m = \frac{\Delta A_m}{A_m} \times 100\%$ 。例如 $\gamma_m = 1.5\%$, 则此仪表的准确度为 1.5 级
15	灵敏度 sensitivity	指输出信号的变化除以产生此变化的输入量的变化之商。例如电流表通以电流 I 能产生偏转角 α , 则此电流表的灵敏度 $S = \alpha/I$ 。它反映仪表对被测量的反应能力
16	测量仪表常数 constant of a measuring instrument	指为得到测量值, 测量仪表的指示值必须与之相乘的一个因数或系数。例如电流表通以电流 I 产生偏转角 α , 则此电流表的仪表常数 $C = I/\alpha = 1/S$, 为其灵敏度的倒数
17	标度, 刻度 scale	指仪表指示器件上的一系列线条、数字或其它符号。此指示器件称为标度盘或刻度盘
18	量程, 量限 measuring range	指测量仪表的测量范围。在此范围内, 仪表的误差在规定限值之内。一个仪表可有多个量程
19	指示仪表 indicating instrument	指具有指示装置、能指示测得的数值的测量仪表
20	指针式仪表 pointer instrument	指指示装置为在固定的标度盘上移动的指针的一种指示仪表
21	振簧式仪表 vibrating reed instrument	指含有一套经过调谐的振动簧片, 用来测量频率的仪表。仪表中一个或多个固定线圈流过适当频率的交流电流时, 使一个或少数几个簧片发生共振从而测出频率
22	数字仪表 digital instrument	指具有数字显示装置的仪表。这种仪表将被测的量通过“模-数转换”以数字方式显示测量结果
23	记录仪表 recording instrument	指具有记录装置、能自动记录测得的数值的仪表
24	积算仪表 integrating instrument	指能给出一个输入量对于时间的积分的测量仪表。例如电度表就是能记录和指示功率对于时间的积分即电能的仪表
25	检测仪表 detecting instrument	指用来检测一个量的有无而重点不在于测定其数值大小的一种仪表。在某些情况下, 也能指示出该量的近似值或其正、负
26	检流计 galvanometer	指用来检测或测量极小的电流 (通常为微安级) 的仪表, 又称“电流计”

(续)

序号	名词术语	含 义 说 明
27	比率表 ratio-meter	指用来测量两个同类量值之间的比值的仪表。一般比率表测量的值为两个电流量的比值, 因此比率表又称“流比计”
28	电流表, 安培表 ammeter	指用来测量电流的仪表。如以毫安为标度单位, 亦可称为“毫安表”
29	电压表, 伏特表 voltmeter	指用来测量电压的仪表。如以毫伏为标度单位, 亦可称为“毫伏表”
30	万用表 multimeter	指用于测量电流、电压、电阻, 有时还能测量其它电气量的一种多功能、多量程的测量仪表, 亦称“复用表”。有的称“三用表”
31	功率表, 瓦特表 wattmeter	指用来测量有功功率的仪表。用来测量无功功率的功率表, 则又称为“无功伏安表”
32	有功电能表, 有功电度表 active energy meter	指将有功功率对时间进行积分来测量有功电能的仪表, 亦称“瓦时表”或“千瓦时表”
33	无功电能表, 无功电度表 reactive energy meter	指将无功功率对时间进行积分来测量无功电能的仪表, 亦称“乏时表”或“千乏小时表”
34	最大需量电度表 meter with maximum demand indicator	指具有能指示用电装置在连续的若干相等时间间隔内的平均功率最大值的一种电度表
35	频率表 frequency meter	指用来测量周期量的频率的仪表, 亦称“赫兹表”
36	功率因数表 power factor meter	指用来测量功率因数 ($\cos\varphi=P/S$) 的仪表, 亦称“相位表”
37	兆欧表 megger	指用来测量大电阻 (通常为绝缘电阻) 的仪表, 又称“高阻计”, 俗称“摇表”
38	接地电阻表 earth resistance meter	指用来测量接地电阻的仪表, 俗称“接地摇表”
39	电桥 measuring bridge	指至少由连接成四边形的四条支路 (臂) 或四组电路元件 (电阻器、电感器、电容器等) 构成的一种测量设备。四边形中的一个对角线有电源供电, 另一个对角线连接有一个指零的检测仪表
40	电位差计 measuring potentiometer	指将被测电压与一个波形、频率和量值均相同的已知电压对接补偿的一种精密测量电压的测量仪表
41	便携式仪表 portable instrument	指可以手提、并由使用者接线或拆线的测量仪表

(续)

序号	名词术语	含 义 说 明
42	安装式仪表 mounting instrument	指用作永久性安装的、并借助永久性敷设的导体与一个或多个外部电路相连接的测量仪表,亦称“固定式仪表”或“板式仪表”
43	无定向测量仪表 astatic measuring instrument	指测量机构(测量元件)不受外来均匀磁场影响的仪表,亦称“无定位测量仪表”。例如将电磁测量机构的线圈分为两部分,而且将其反向串联,这样线圈通电时,两线圈产生的磁场方向相反,但转矩却是相加的。同时外磁场对测量机构的影响是对一个线圈磁场是加强,对另一个线圈磁场却是削弱,总的影晌是相互抵消,从而提高了测量的准确度
44	磁屏蔽 magnetic screen	指由铁磁材料制成的、专用来减弱外磁场对指定区域(对仪表为测量机构)穿透的一种屏蔽
45	电屏蔽 electric screen	指由导电材料制成的、专用来减弱外电场对指定区域(对仪表为测量机构)穿透的一种屏蔽
46	制动 braking	指使运行中的机械或部件停止或减速的动作。测量仪表常用的制动方式有“电磁制动”和“涡流制动”
47	阻尼 damping	①指振荡的振幅随时间逐渐减小;②指振荡系统的能量随时间或距离而耗散。阻尼只存在于振荡过程之中,阻尼随振荡结束而消失。测量仪表常用的阻尼方式有“空气阻尼”和“电磁阻尼”
48	分流器 shunt	指与电路的一部分并联,以便从这部分电路中分出电流的一种导电器件。例如与磁电系测量机构(俗称表头)并联一个分流器(并联小电阻),由于分流器可分出很大一部分电流,表头内只流过小部分电流,因而大大扩大了表头的测量范围

(二) 测量技术基础知识

1. 测量方式和方法的选择 如表 JC7-2 所示。

表 JC7-2 测量方式和方法的选择

序号	类别	说 明
1	测量方式的选择	
1.1	直接 测量 参看表 JC7-1 序号 2	一般情况下,应尽可能选用简捷的直接测量法,而且在大多数情况下,直接测量的准确度比间接测量高。但在下列两种情况下宜采用间接测量法:①因测量条件限制,无法直接测量时,例如测量电阻,若无适当直测仪表时,则可采用电流表和电压表来间接测量电阻。②在直接测量满足不了测量准确度要求时,则宜采用间接测量。例如测量功率,若功率表准确度低,则宜采用准确度高的电流表和电压表来间接测量
1.2	间接 测量 参看表 JC7-1 序号 3	
2	测量方法的选择	
2.1	直 读 法 用指示仪表直接测读被测量的数值	一般工程测量,以简捷的直读法为主。但在要求测量准确度和灵敏度较高时,则宜选用比较法。但比较法的设备复杂,操作较难
2.2	比 较 法 用比较仪器将被测量与标准量进行比较而求得被测量的数值	

2. 测量误差及仪表准确度 如表 JC7-3 所示。

表 JC7-3 测量误差及仪表准确度

序号	项 目		说 明						
1	测量误差的类别及其消除措施								
1.1	系统误差	产生原因	为测量过程中产生的有一定规律的误差:①仪表因其准确度所限而存在的基本误差;②测量方法不完善引起的误差;③仪表安装不当及环境条件变化引起的误差;④测量人员因经验不足、观测不准引起的误差						
		消除措施	①对仪表进行校正,精密测量时引入校正(补)值;②正确选用测量方法和测量仪表;③正确安装和使用测量仪表;④采用能消除或减小系统误差的特殊测量方法,如“正负误差补偿”测量法,例如测量电流,第一次采取电流由小增大来测量,第二次采取电流由大减小来测量,然后两次测量数值平均,这样可消除误差中所含的摩擦误差						
1.2	随机误差	产生原因	由于外界的偶然因素例如环境温度、湿度、外界电场或磁场及电源电压、频率等的偶然变化而引起的误差,因此又称“偶然误差”						
		消除措施	采用多次重复测量,可减小或消除此类随机误差						
1.3	疏失误差	产生原因	由于测量者在测量过程中疏失而造成的误差或差错						
		消除措施	此种误差应予以舍弃						
2	测量误差的表示方式								
2.1	绝对误差		即测量所得值(仪表指示值) A 与被测的实际值(或标准表的指示值) A_0 的代数差 $\Delta A = A - A_0$						
2.2	相对误差		即测量的绝对误差 ΔA 与被测量的实际值 A_0 的百分比 $\gamma_A = \frac{\Delta A}{A_0} \times 100\%$ 在工程中,测量的相对误差常以其绝对误差 ΔA 与仪表指示值 A 的百分比来表示,即 $\gamma_A \approx \frac{\Delta A}{A} \times 100\%$						
2.3	引用误差		即测量的绝对误差 ΔA 与测量仪表的量程(即仪表的满刻度值) A_m 的百分比,亦称“基准误差” $\gamma_m = \frac{\Delta A}{A_m} \times 100\%$						
3	仪表的准确度级								
3.1	准确度级的量度		以仪表测量的“最大引用误差”即测量的最大绝对误差 ΔA_m 与仪表量程 A_m 的百分比来量度,即 $\gamma_{m \cdot \max} = \frac{\Delta A_{\max}}{A_m} \times 100\%$ 例如某仪表的最大引用误差为 $\pm 2.5\%$ 或略小时,则该仪表的准确度级为 2.5 级						
3.2	指示仪表的准确度等级	准确度级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
		基本误差(%)	± 0.1	± 0.2	± 0.5	± 1.0	± 1.5	± 2.5	± 5.0
	附 注	表中“基本误差”,是指仪表在规定工作条件下,只是由于结构设计和制造工艺等原因所引起的误差。仪表因偏离工作条件而产生的误差,称为“附加误差”,不属基本误差							

3. 测量数值的修约规则 按国家标准《数值修约规则》(GB8170—87)规定,测量所得的各种数值需要修约时,一般应按该国标的规定进行。该国标的规定摘要如表 JC7-4 所示。

表 JC7-4 测量数值的修约规则 (据 GB8170—87)

序号	项 目	说 明															
1	有效位数的概念	<p>①对没有小数位且以若干个零结尾的数值,从非零数字最左一位向右数得到的位数减去无效零(即仅为定位用的零)的个数,就是其“有效位数”。例:35000,若有两个无效零,则为三位有效位数,应写为 350×10^2;若有三个无效零,则为两位有效位数,应写为 35×10^3</p> <p>②对其它十进位数,从非零数字最左一位向右数得到的位数,就是其“有效位数”。例:3.2, 0.32, 0.0032, 均为两位有效位数;0.0320 为三位有效位数;10.00 为四位有效位数;12.490 为五位有效位数</p>															
2	进舍规则	<p>①拟舍弃数字的最左一位数字小于5时,则舍去,即保留的各位数字不变。例:将12.1498修约到一位小数,为12.1;如修约到两位有效位数,则为12</p> <p>②拟舍弃数字的最左一位数字大于5;或者是5,而其后面有并非全部为零的数字时,则进一,即保留的末位数字加1。例:将1268修约到“百”数位,为 13×10^2 (特定时可写为1300);如修约为三位有效位数,则为 127×10 (特定时可写为1270)</p> <p>③拟舍弃数字的最左一位数字为5,而右边无数字或皆为零时,如所保留的末位数字为奇数(1、3、5、7、9)则进一,为偶数(2、4、6、8、0)则舍弃。例:将0.0325修约为两位有效位数,为0.032;将32500修约为两位有效位数,为 32×10^3 (特定时可写为32000)</p> <p>④负数修约时,先将其绝对值按上述①~③条规定进行修约,然后在修约值前边加上负号。例: -365修约为两位有效位数,为 -36×10 (特定时可写为-360); -0.0365修约为两位有效位数,为-0.036</p>															
3	不许连续修约的规定	<p>①拟修约的数字应在确定修约位数后一次修约获得结果,而不得多次按上述进舍规则(序号2)连续修约。例:将15.4546修约为两位有效位数,应按序号2的①条,一次修约为15,而不能如下连续修约:15.4546→15.455→15.46→15.5→16</p> <p>②在具体实施中,有时测试与计算部门先将获得数值按指定的修约位数多一位或多几位报出,而后由其它部门判定。为避免产生连续修约的错误,应按下列步骤进行:</p> <p>a. 报出数值最右的非零数字为5时,应在数值后边加注“(+)”或“(-)”或不加符号,以分别表明已进行过“舍”、“进”或“未舍未进”</p> <p>b. 如果判定报出值需要进行修约,当拟舍去数字的最左一位数字为5而后边无数字或皆为零时,数值后边有(+)号者进一,后边有(-)号者舍去,其它仍按序号2的进舍规则进行</p> <p>例:</p> <table border="1" style="margin-left: 40px;"> <thead> <tr> <th>实 测 值</th> <th>报 出 值</th> <th>修 约 值</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15.4546</td> <td>15.5 (-)</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>16.5203</td> <td>16.5 (+)</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td>17.5000</td> <td>17.5</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>-15.4546</td> <td>-15.5 (-)</td> <td>-15</td> </tr> </tbody> </table>	实 测 值	报 出 值	修 约 值	15.4546	15.5 (-)	15	16.5203	16.5 (+)	17	17.5000	17.5	18	-15.4546	-15.5 (-)	-15
实 测 值	报 出 值	修 约 值															
15.4546	15.5 (-)	15															
16.5203	16.5 (+)	17															
17.5000	17.5	18															
-15.4546	-15.5 (-)	-15															

注:国标GB8170—87规定的《数值修约规则》,不只适于测量数值,而是“适用于科学技术与生产活动中试验测定和计算得出的各种数值”,因此非常重要。

(续)

序号	项目	标志名称	符 号	序号	项目	标志名称	符 号
6	绝缘强度	绝缘强度试验电压为 2kV		7	端钮	与屏蔽相连的端钮	
7	端钮	正端钮	+	8	使用的外界条件	I 级防外磁场 (例: 磁电系)	
		负端钮	-			I 级防外电场 (例: 静电系)	
		公共端钮 (多量程仪表)				II 级防外磁场 (II、IV 级类此)	
		交流端钮				II 级防外电场 (II、IV 级类此)	
		电源端钮 (功率表、相位表)				A 组仪表 (B、C 组类此)	
		接地端钮					
		接壳端钮					

2. 常用电工仪表的型号编制 如表 JC7-6 所示。

表 JC7-6 常用电工仪表的型号编制

序号	项 目	说 明								
1	便携式指示仪表	 系列代号 设计序号 用途代号								
	安装式指示仪表	 形状第一位代号 形状第二位代号 系列代号 设计序号 用途代号								
	电度表	 电度表代号 类别代号 设计序号 派生代号 产品规格代号								
2	系列代号 (结构型式组别)	B 谐振系	C 磁电系	D 电动系	E 热电系	L 整流系	Q 静电系	T 电磁系	Z 电子系	
3	用途代号 (产品名称代号)	A 电流表	V 电压表	W 有功功率表	var 无功功率表	cosφ 功率因数表	Hz 频率表	S 同步表		
		D 单相	S 三相三线	T 三相四线	X 无功	J 直流	Z 最高需量			
4	电度表类别代号	D 单相	S 三相三线	T 三相四线	X 无功	J 直流	Z 最高需量			

(续)

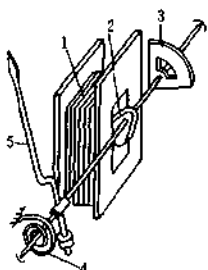
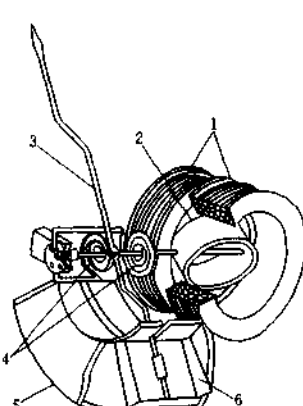
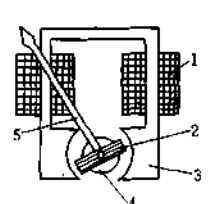
序号	项 目	说 明	
5	安装仪表 形状代号	第一位	按仪表面板形状的最大尺寸编号, 用数字 1~9 表示
		第二位	按仪表外壳形状特征编号, 用数字 0~9 表示, 但数字 0 可省略
6	型号 示例	便携式 指示仪表	<p>T 19 - V 电压表 设计序号 电磁系</p>
		安装式 指示仪表	<p>I T 1 - A 电流表 设计序号 电磁系 形状代号</p>
		电 度 表	<p>D X 865 - 2 产品规格代号 设计系列、序号(86系列) 无功 电度表</p>
7	备 注	<p>万用电表的型号表示如下:</p> <p> 专用 万用表 设计 仪表 (复用表) 序号 例: "MF30" 表示设计序号为 30 的万用电表 </p>	

3. 常用电工仪表的测量机构 如表 JC7-7 所示。

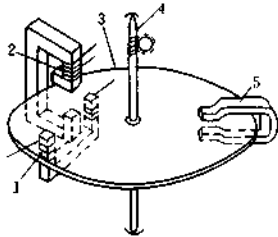
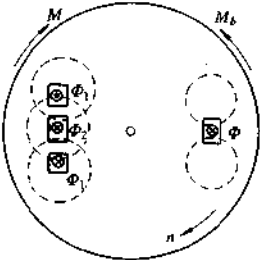
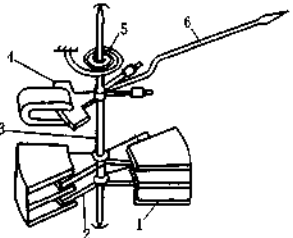
表 JC7-7 常用电工仪表的测量机构

序号	名称	基本结构	原 理	特 点	应用范围
1	磁电系 测量机构	<p>1—永久磁铁 2—可动线圈 3—铁心 4—游丝(兼导流片) 5—指针 (此为动圈型, 动磁型略)</p>	<p>利用载流线圈与永久磁铁磁场相互作用而使仪表指针偏转。偏转角与线圈电流有如下关系:</p> $\alpha \propto I$	<ul style="list-style-type: none"> ①灵敏度高 ②准确度高 ③功耗小 ④刻度均匀 ⑤过载能力小 ⑥只能测直流。如需测交流, 需先整流 	<p>广泛用作直流电流表、电压表、兆欧表、检流计及万用表、整流系表、电子系表等的表头</p>

(续)

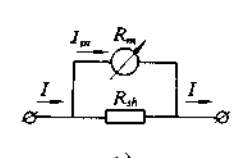
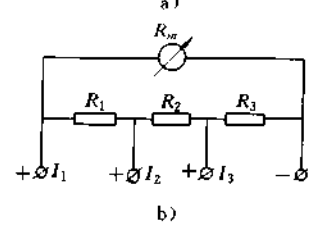
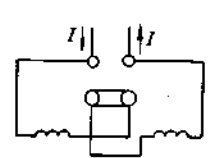
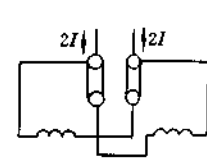
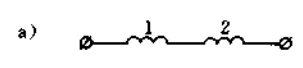
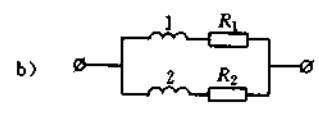
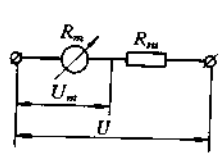
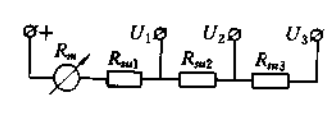
序号	名称	基本结构	原理	特点	应用范围
2	电磁系测量机构	 <p>1—固定线圈 2—可动铁片 3—阻尼铝片 (阻尼永磁体未表示) 4—游丝 5—指针 (此为吸引型, 推斥型略)</p>	<p>利用固定的载流线圈磁场使可动的铁磁体磁化而使仪表指针偏转。偏转角与线圈电流有如下关系:</p> $\alpha \propto I^2$	<ul style="list-style-type: none"> ①结构简单, 价格低廉 ②过载能力强 ③受外磁场影响较大, 必须采用磁屏蔽或无定向结构 ④准确度较低 ⑤功耗较大 ⑥刻度不均匀 ⑦交直流两用但主要用于交流 	<p>一般用作交流电流表、电压表, 特别广泛用作安装式交流电流表和电压表</p>
3	电动系测量机构	 <p>1—固定线圈 (两个, 相对) 2—可动线圈 3—指针 4—游丝 (兼作导流片) 5—阻尼盒 6—阻尼叶片</p>	<p>利用固定的载流线圈与可动的载流线圈间相互作用 (电动力作用) 而使仪表指针偏转。偏转角与两载流线圈电流间有如下关系:</p> <p>直流: $\alpha \propto I_1 I_2$ 交流: $\alpha \propto I_1 I_2 \cos \phi$</p> <p>式中, ϕ 为 i_1 与 i_2 间的相位差</p>	<ul style="list-style-type: none"> ①准确度高 ②交直流两用 ③受外磁场影响较大, 必须采用无定向结构或磁屏蔽 ④功耗较大 ⑤过载能力小 ⑥作成电流表、电压表, 刻度不均匀, 而功率表刻度均匀 ⑦价格较贵 	<p>广泛用作功率表、功率因数表、频率表及准确度等级较高的交直流两用的电流表、电压表</p>
4	铁磁电动系测量机构	 <p>1—固定线圈 2—可动线圈 3—铁心 (马蹄形) 4—铁心 (圆柱形) 5—指针</p>	<p>与上述电动系测量机构比较, 主要有下列特点:</p> <ul style="list-style-type: none"> ①转矩增大; ②准确度降低 	<p>主要用作安装式功率表、功率因数表、频率表及需耐震的仪表和要求大转矩的自动记录仪表</p>	

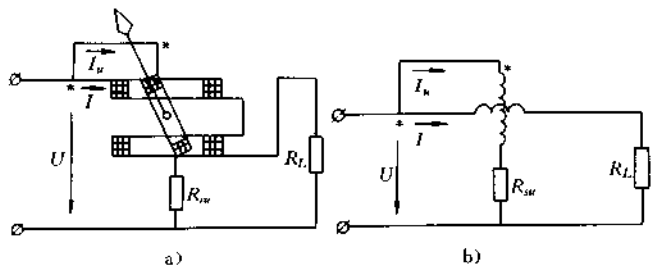
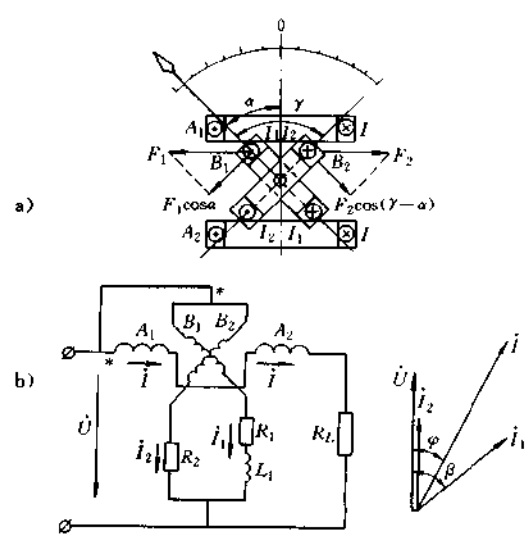
(续)

序号	名称	基本结构	原理	特点	应用范围
5	感应系测量机构	 <p>1—电流线圈及铁心 2—电压线圈及铁心 3—旋转铝盘 4—转轴 (上有蜗杆, 通过蜗轮及齿轮带动计数器) 5—制动力永久磁铁</p>	<p>利用两个不同相位的交变磁通 Φ_1、Φ_2 穿过铝盘, 产生转矩, 如下图所示, 使铝盘旋转。转矩</p> $M \propto \Phi_1 \Phi_2 \sin \phi$ <p>式中, ϕ 为 Φ_1 与 Φ_2 之间的相位差。转矩方向为从领先磁通 Φ_1 到滞后磁通 Φ_2 的方向</p> <p>利用铝盘旋转时切割永久磁铁的磁通而产生制动力矩 (braking moment)</p> $M_b \propto n$ <p>式中, n 为铝盘转速。制动力矩方向与转矩相反</p> <p>在铝盘达到某一转速时, 制动力矩与转矩相等, 此时铝盘匀速旋转</p> 	<p>①转矩较大 ②过载能力较大 ③功耗较小 ④只能用于交流测量 ⑤通过不同的接线, 可使铝盘转速正比于测量电路的有功功率或无功功率, 从而可用来计量有功电能或无功电能</p>	<p>广泛用作交流电度表, 计量交流电路的有功电能或无功电能</p>
6	静电系测量机构	 <p>1—固定电极 2—可动电极 3—转轴 4—阻尼铝片及磁铁 5—游丝 6—指针</p>	<p>利用电极之间的静电吸引力使可动电极带动仪表指针偏转。指针偏转角与加在电极间的电压平方成正比:</p> $\alpha \propto U^2$	<p>①功耗几乎为零 ②耐压高 ③交直流两用 ④转矩较小 ⑤受电场影响大, 需静电屏蔽 ⑥刻度不均匀</p>	<p>用于高电压的测量 (电压可高达几十万伏) 及高频电压的测量 (频率可高达 10^8Hz)</p>

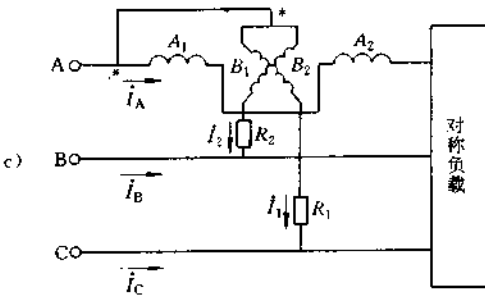
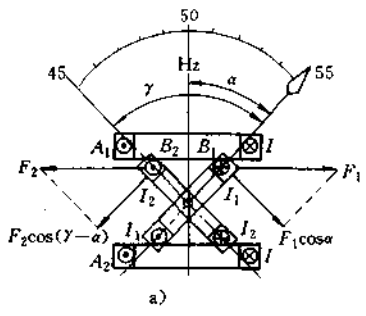
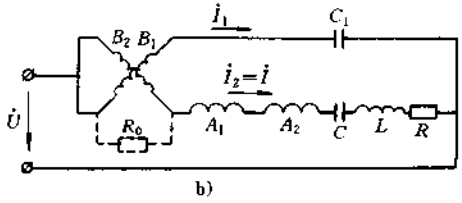
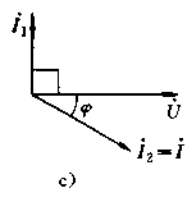
4. 常用的电工指示仪表 如表 JC7-8 所示。

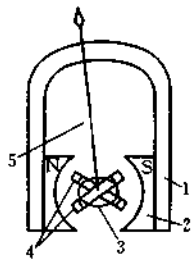
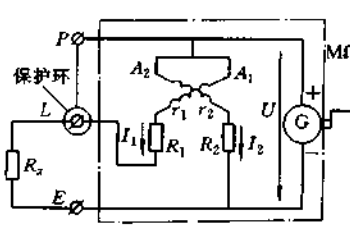
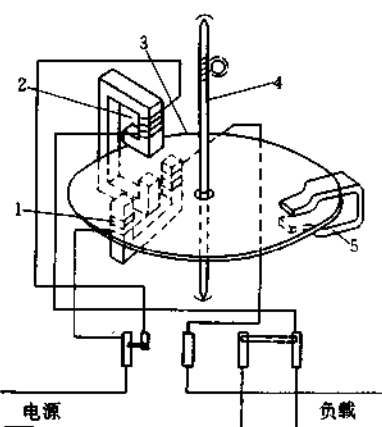
表 JC7-8 常用的电工指示仪表

序号	类别	结构、接线与应用
1	磁电系电流表	<p>①磁电系测量机构可直接制成微安表或小量程毫安表</p> <p>②一般磁电系电流表将磁电系测量机构(俗称“表头”)与分流器(shunt)并联(内接或外接),如图 a 所示 分流电阻按下式计算:</p> $R_{sh} = \frac{R_m}{n-1}$ <p>式中, R_m 为测量机构内阻, n 为扩程倍数 ($n=I/I_m$), 以安培为单位的电流表, 又称“安培表”</p> <p>③多量程电流表电路如图 b 所示</p> <p>④用于直流电流测量</p>  
2	电磁系电流表	<p>①电磁系测量机构可直接通过较大电流(可达 100A), 因此一般不用分流器。对交流, 可利用电流互感器来扩大量程</p> <p>②安装式电流表一般制成单量程的, 而便携式电流表则多制成双量程, 电流线圈分为两半, 两个半圈串联(图 a) 的量程为两个半圈并联(图 b) 量程的 1/2</p> <p>③可交直流两用, 但多用于交流测量</p>  
3	电动系电流表	<p>①量程在 0.5A 及以下时, 一般采用定圈 1 与动圈 2 串联的方式, 如图 a 所示</p> <p>②较大量程的电流表, 采用定圈 1 与动圈 2 并联的方式, 如图 b 所示</p> <p>③对交流, 还可利用电流互感器来进一步扩程</p> <p>④交直流两用</p>  
4	磁电系电压表	<p>①串联附加电阻 (supplementary resistance) 来扩大电压表量程 附加电阻按下式计算:</p> $R_m = (m-1) R_m$ <p>式中, R_m 为测量机构内阻, m 为扩程倍数 ($m=U/U_m$), 以毫伏为单位的电压表, 又称“毫伏表”; 以伏特为单位的电压表, 又称“伏特表”</p> <p>②多量程电压表电路如图所示</p> <p>③用于直流电压测量</p>  
5	电磁系电压表	<p>①串联附加电阻, 与序号 4 同</p> <p>②可交直流两用, 但多用于交流测量</p> <p>③对交流, 还可利用电压互感器来进一步扩程</p>
6	电动系电压表	<p>①将定圈与动圈串联后, 再串联附加电阻</p> <p>②可交直流两用</p> <p>③对交流, 还可利用电压互感器来进一步扩程</p>

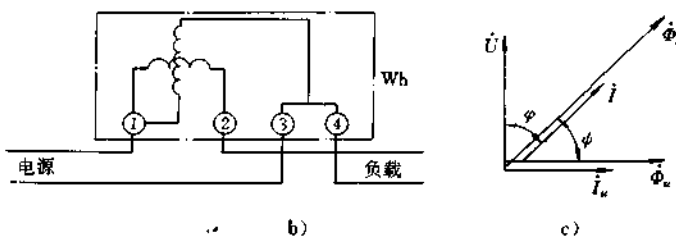
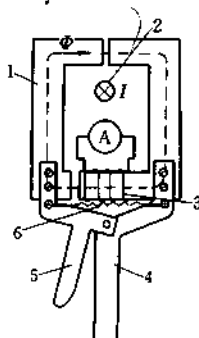
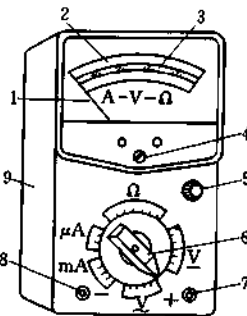
序号	类别	结构、接线与应用
7	电动机功率表 (瓦特表)	<p>①定圈作为电流线圈，通以电流；动圈作为电压线圈，串联附加电阻 R_{su} 后，接上电压。具体结构和接线如图下所示。图上标“*” (或标“±”) 的端子称为“电源端”或“同极性端”，定圈和动圈中的电流应从此端同时流进或流出</p>  <p>②指针的偏转角与被测量的关系为 直流 $\alpha \propto IU = P$ 交流 $\alpha \propto IU \cos \varphi = P$</p> <p>式中，$\varphi$ 为 \dot{U}、\dot{I} 间的相位差</p> <p>③功率表量程的扩大，包括其电流量程扩大和电压量程扩大两个方面。电流量程的改变，可通过其定圈的串联或并联来实现。两定圈由串联改为并联时，电流量程扩大一倍。电压量程的改变，可通过动圈串联不同的附加电阻 (参看序号 4 的附图) 来实现。附加电阻值越大，则电压量程越大。交流功率表量程的扩大，还可通过电流互感器和电压互感器来实现</p> <p>④交直流两用</p>
8	铁磁电动机功率表	<p>其定圈和动圈分别含有铁心。其接线和原理与上述电动机功率表相同。因铁磁电动机功率表转矩较大，故特别适于制成记录式功率表</p>
9	电动机相位表 (功率因数表)	<p>①电动机相位表采用比率表 (又称“流比计”) 的测量机构。电动机比率表的测量机构如图 a 所示</p> $M_1 = k_1 I_1 \cos \varphi_1 \cos \alpha$ $M_2 = k_2 I_2 \cos \varphi_2 \cos (\gamma - \alpha)$ <p>式中，φ_1、φ_2 分别为 \dot{i} 与 \dot{I}_1 及 \dot{i} 与 \dot{I}_2 的相位差。在两定圈和两动圈的结构分别完全相同时，$k_1 = k_2$。因此当 $M_1 = M_2$ 时将有下列关系式：</p> $\frac{\cos (\gamma - \alpha)}{\cos \alpha} = \frac{I_1 \cos \varphi_1}{I_2 \cos \varphi_2}$ <p>上式说明，电动机比率表的指示 (偏转角) 与两个动圈电流 (其电流相量在定圈电流相量上的投影值) 的比值有关</p> <p>②单相电动机相位表的接线和相量图如图 b 所示</p> 

(续)

序号	类别	结构、接线与应用
9	电动系相位表(功率因数表)	<p> $M_1 = k_1 I I_1 \cos(\beta - \varphi) \cos \alpha$ $M_2 = k_2 I I_2 \cos \varphi \cos(\gamma - \alpha)$ 在 $M_1 = M_2$, 且 $k_1 = k_2, I_1 = I_2$ 时, 则 $\frac{\cos \alpha}{\cos(\gamma - \alpha)} = \frac{\cos \varphi}{\cos(\beta - \varphi)}$ 故偏转角 $\alpha = f(\varphi)$, 或 $\alpha = F \cos \varphi$ 如设计时使 $\gamma = \beta$, 则 $\alpha = \varphi$ ③三相电动系相位表的接线如图 c 所示, 亦不难证明, 偏转角为 $\alpha = f(\varphi)$ 或 $\alpha = F(\cos \varphi)$ </p> 
10	电动系频率表(赫兹表)	<p> ①电动系频率表亦采用比率表(流比计)的测量机构(参看序号 9) ②电动系频率表的结构和接线如图所示 设计时使 $\gamma = 90^\circ$, 故 $M_1 = k_1 I I_1 \cos(90^\circ + \varphi) \cos \alpha$ $M_2 = k_2 I I_2 \cos 0^\circ \cos(90^\circ - \alpha)$ 在 $M_1 = M_2$, 且 $k_1 = k_2$ 时 $\frac{\cos(90^\circ - \alpha)}{\cos \alpha} = \frac{I_1 \cos(90^\circ + \varphi)}{I_2}$ 即 $\tan \alpha = -\frac{I_1}{I_2} \sin \varphi$ 由于 I_1, I_2 分别决定于电压 U 及各自支路的阻抗, 而阻抗值与电源频率有关, 因此指针偏转角 α 是频率 f 的函数, 所以此表可用来测量电源频率 [注]为了提高仪表的灵敏度, 现在生产的频率表在动圈 B_2 两端并联了一个分流电阻 R_0, 如图 b 上的虚线所示。这样可使定圈 A_1, A_2 通过较大电流。但上面的分析未计及此分流电阻, 特此说明 </p>   
11	兆欧表(高阻计)	<p> ①兆欧表(又称“高阻计”, 俗称“摇表”), 主要由磁电系比率表(流比计)的测量机构和手摇发电机所组成 ②磁电系比率表的结构如图 a 所示。 动圈 A_1 的转矩(顺时针): $M_1 = I_1 f_1(\alpha)$, 动圈 A_2 的转矩(反时针): $M_2 = I_2 f_2(\alpha)$。 当 $M_1 = M_2$ 时, $I_1 f_1(\alpha) = I_2 f_2(\alpha)$, 所以 $\alpha = f\left(\frac{I_1}{I_2}\right)$, 即其指示值与两动圈的电流比值有关 ③兆欧表的结构和接线如图 b 所示。 </p>

序号	类别	结构、接线与应用
11	兆欧表 (高阻计)	<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>1—永久磁铁 2—极掌 3—椭圆铁心(或开有缺口的圆柱铁心) 4—可动线圈 A_1, A_2 5—指针</p> <p>L端—“线路”端 E端—“接地”端 P端—“保护”端(或称“屏蔽”端)</p> <p>被测电阻 R_x 接在 L 端与 E 端之间。P 端与 L 端的保护环(或称“屏蔽环”)相联,以消除被测体的表面电流对测量结果的影响</p> <p>由图 b 可知</p> $I_1 = \frac{U}{r_1 + R_1 + R_x}$ $I_2 = \frac{U}{r_2 + R_2}$ <p>所以</p> $\alpha = f\left(\frac{I_1}{I_2}\right) = f\left(\frac{r_2 + R_2}{r_1 + R_1 + R_x}\right) = F(R_x)$ <p>因此此表可测量电阻值(大电阻)</p> <p>④兆欧表用来测量 $0.1M\Omega$ 以上的大电阻(通常是绝缘电阻)。在选用时,要注意其直流电源电压要与被测设备或线路的工作电压相适应,符合有关规程的规定</p>
12	感应系电度表(电能表)	<p>①感应系电度表采用感应系测量机构(参看表 JC7-7 序号 5)</p> <p>②单相有功电度表的结构和接线分别如图 a、b 所示</p> <p>③一般单相电度表为“90° 相位差接线”,即其电压线圈的电流 i_u, 由于其线圈感抗很大,可认为是纯电感电流,因此它滞后于电压 $\dot{U}90^\circ$。设负载为感性,电流 i 滞后电压 \dot{U} 一个相位角 φ, 而电压磁通 Φ_u 可认为与 i_u 同相, 电流磁通 Φ_i 可认为与 i 同相, 且 $\Phi_u \propto U$, $\Phi_i \propto I$, 并由图 c 所示相量图知 $\phi = 90^\circ - \varphi$, 故</p> $M \propto \Phi_u \Phi_i \sin\phi \propto UI \cos\varphi = P$ <p>这说明电度表铝盘转矩与负载功率成正比,因此可计量电能</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">  </div> <p>1—电流线圈及铁心 2—电压线圈及铁心 3—铝盘 4—转轴 5—制动永久磁铁</p>

(续)

序号	类别	结构、接线与应用
12	感应系电度表(电能表)	 <p>b)</p> <p>c)</p>
13	钳形电流表	<p>①它由铁心可以开合的电流互感器与电流表组合而成,如右图所示。关于电流互感器的结构原理参看表 JC11-17 的序号 1</p> <p>②测量时,握紧操作手柄,打开铁心,卡入被测电路的导线,这导线就相当于电流互感器的一次线圈(只 1 匝)。当松开操作手柄时,铁心闭合,被测导线的电流就感应到互感器的二次线圈,从而可由接在二次线圈的电流表测出电流值</p>  <p>1—可开合铁心 2—被测电路的导线 3—互感器二次线圈,接电流表 4—钳形表手柄 5—控制铁心开合的操作手柄 6—拉紧弹簧</p>
14	万用表	<p>①万用表是一种用来测量交直流电压、电流和电阻等且每一种测量具有多种量程的电工测量仪表,又称“万能表”或“复用表”,也有的称为“三用表”。由于它用途广泛、使用方便,因此人们常将它与钳形电流表(序号 13)、兆欧表(序号 11)并称为“电工常用三表”</p> <p>②万用表由磁电系测量机构、测量电路和转换开关等三部分组成</p> <p>图 a 为 MF30 型万用表的外形结构</p> <p>③万用表的测量电路由电流测量电路、电压测量电路、电阻测量电路、整流电路等组合而成。MF30 型万用表的总电路如图 b 所示</p> <p>④万用表使用注意事项:</p> <p>a. 接线时要注意接线端钮(插孔)的极性(+、-),在用万用表的欧姆档去判别二极管极性时,应记住“+”端是接自表内电池的负极</p> <p>b. 应按被测量的对象和大小正确选择档位。测电压时,绝不能将转换开关置于欧姆档或电流档;而测量较高电压时,不能将转换开关置于电压的低量程档</p> <p>c. 在测量之前先要调零。测量电阻时,如果用调零旋钮无法使指针调到欧姆零位,则说明表内电池电压过低,需更换新电池</p>  <p>a)</p> <p>1—指针 2—标度尺 3—反射镜 4—调零螺钉 5—电阻调零旋钮 6—转换开关手柄(旋钮) 7—正极接线插孔 8—负极接线插孔 9—表壳</p>

序号	类别	结构、接线与应用
14	万用表	<p>d. 测量电流时,万用表要串入被测电路;测量电压时,万用表要与被测电路并联。电流、电压量程的切换,不能带电进行,以免烧损转换开关触头</p> <p>e. 严禁在带电情况下测量电阻;否则被测电阻上的电压串入表内,不仅严重歪曲测量结果,而且可能烧毁表头(测量机构)</p> <p>f. 万用表使用后,应将转换开关扳向交流电压最高档</p> <p>b)</p>

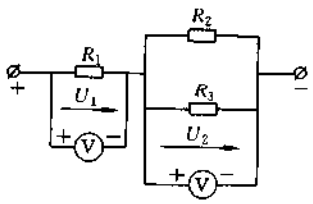
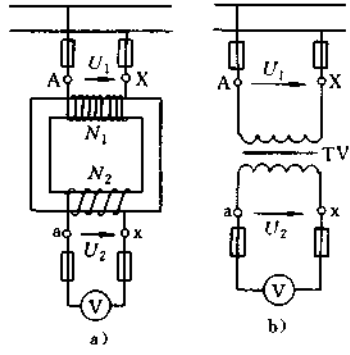
(四) 常用的电工测量方法

1. 电流和电压的测量 如表 JC7-9 所示。

表 JC7-9 电流和电压的测量

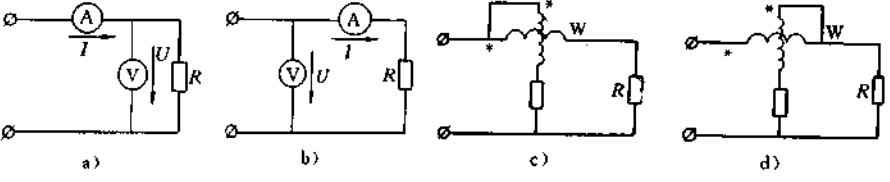
序号	类别	说 明
1	直流电流的测量	<p>①采用直流电流表测量</p> <p>②电流表应串联在被测电流的电路中,如右图所示。接线时,要注意表的极性</p> <p>③可采用并联“分流器”来扩大电流表的量程(参看表 JC7-8 序号 1)</p>
2	交流电流的测量	<p>①采用交流电流表测量</p> <p>②电流表应串联在被测电流的电路中</p> <p>③可采用电流互感器来扩大电流表的量程,其结构和接线如图 a 所示,图形符号如图 b 所示</p> <p>如电流表读数为 I_2,则被测电流值为</p> $I_1 = \frac{N_2}{N_1} I_2 = K_1 I_2$ <p>式中, N_1、N_2 分别为电流互感器一、二次线圈匝数; $K_1 = I_1 N_2 / I_2 N_1 = N_2 / N_1$,称为电流互感器的变流比</p>

(续)

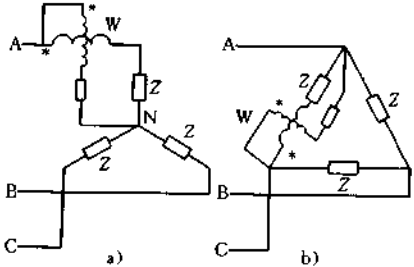
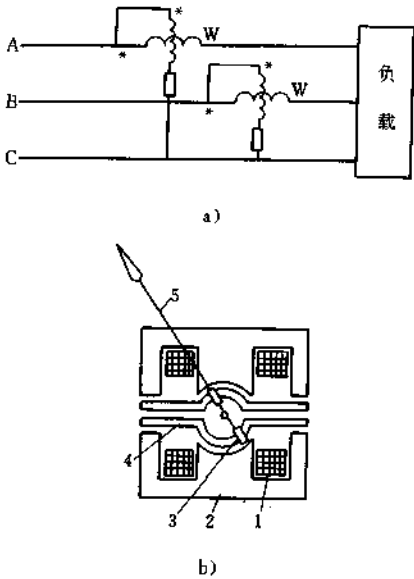
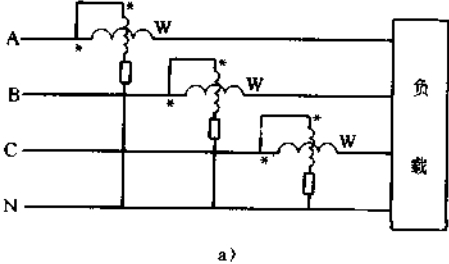
序号	类别	说明
3	直流电压的测量	<p>①采用直流电压表测量</p> <p>②电压表应与被测电压的电路并联,如下图所示。接线时,要注意表的极性</p> <p>③可采用串联“附加电阻”来扩大电压表的量程(参看表JC7-8序号4)</p> 
4	交流电压的测量	<p>①采用交流电压表测量</p> <p>②电压表应与被测电压的电路并联</p> <p>③可采用电压互感器来扩大电压表的量程,其结构和接线如图a所示,图形符号如图b所示</p> <p>如电压表读数为U_2,则被测电压值为</p> $U_1 = \frac{N_1}{N_2} U_2 = K_u U_2$ <p>式中,N_1、N_2分别为电压互感器一、二次线圈匝数;$K_u = U_1/N$/$U_2N = N_1/N_2$,称为电压互感器的变压比</p> 

2. 电功率的测量 如表 JC7-10 所示。

表 JC7-10 电功率的测量

序号	类别	说明
1	直流功率的测量	<p>①可采用直流电流表和电压表来间接测量。这种方法也可称为“伏安法”</p> <p>接线有图 a 和图 b 两种</p> <p>图 a 适于负载电阻 $R \ll R_v$ (电压表内阻) 的情况</p> <p>图 b 适于负载电阻 $R \gg R_A$ (电流表内阻) 的情况</p> <p>被测功率值为: $P \approx UI$</p> <p>②通常采用电动系功率表来直接测量,其接线如图 c 或图 d 所示。接线时,要注意表的电压、电流极性</p> 

(续)

序号	类别	说明
2	单相有功功率的测量	<p>通常采用电动系功率表来直接测量,其接线与序号1功率表的接线相同。也要注意表的电压、电流极性端</p>
3	一表法	<p>①采用一只功率表测量其中一相负载功率,接线如图 a 或图 b 所示 三相总功率为 $P=3P_p$ 式中, P_p 为功率表读数 ②一表法只适用于对称三相系统</p> 
	三相有功功率的测量	<p>①采用两只功率表测量,接线如图 a 所示 三相总功率为 $P=P_1+P_2$ ②当负载功率因数 $\cos\varphi < 0.5$ 时,则其中一只功率表的指针将反偏。这时应将此功率表的电流端钮换接,使表针改为正偏。换接后,三相总功率应为 $P=P_1-P_2$ ③也可采用一只与两表法相同接线的三相两元件功率表来测量。铁磁电动系三相两元件功率表的结构如图 b 所示 ④两表法适用于一般(不论负荷平衡与否)三相三线制系统</p>  <p>1—定圈 2—定圈铁心 3—动圈 4—动圈铁心 5—指针</p>
	三表法	<p>①采用三只功率表测量,接线如图 a 所示 三相总功率为 $P=P_1+P_2+P_3$ ②也可采用一只与三表法相同接线的三相三元件功率表来测量。铁磁电动系三相三元件功率表的结构如图 b 所示 ③三表法适用于一般三相四线制系统</p> 

(续)

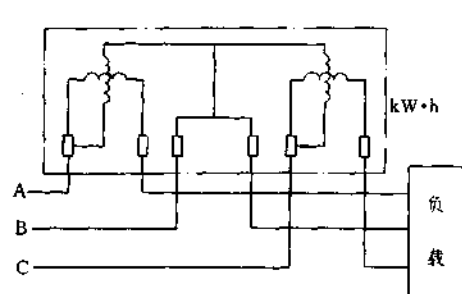
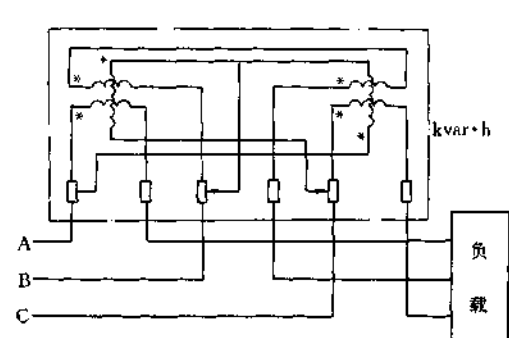
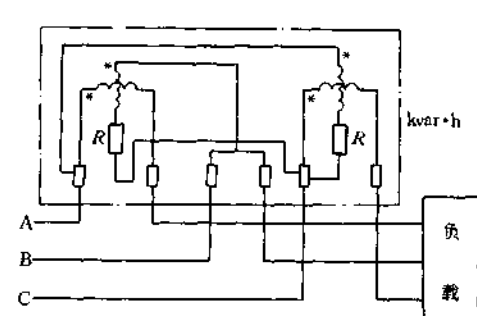
序号	类别	说明
3	三相有功功率的测量 三表法	<p>b)</p> <p>1—定圈 2—定圈铁心 3—动圈 4—动圈铁心 5—指针</p>

3. 电能的测量 如表 JC7-11 所示。

表 JC7-11 电能的测量

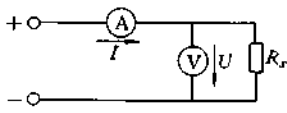
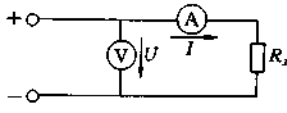
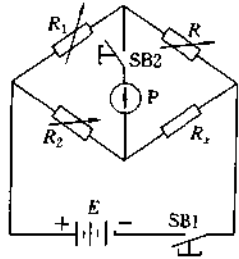
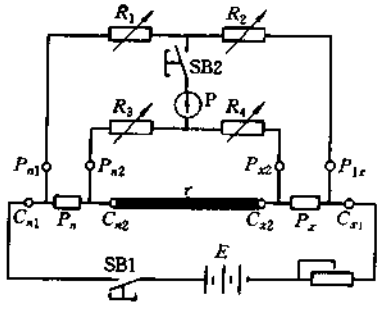
序号	类别	说明
1	单相有功电能的测量	<p>①采用单相感应系电度表测量,接线见表 JC7-8 序号 12</p> <p>②电度(kW·h)数的计算(适于所有电能测量)</p> <p>a. 直接测量时</p> $\text{全月电度数} = \text{本月抄表电度数} - \text{上月抄表电度数}$ <p>b. 经电流互感器测量时</p> $\text{全月电度数} = (\text{本月抄表电度数} - \text{上月抄表电度数})K_i$ <p>式中, K_i 为电流互感器变流比</p> <p>c. 经电流互感器和电压互感器测量时</p> $\text{全月电度数} = (\text{本月抄表电度数} - \text{上月抄表电度数})K_i K_u$ <p>式中, K_i、K_u 分别为电流互感器的变流比和电压互感器的变压比</p>
2	三相四线制电路有功电能的测量	<p>①采用三相三元件有功电度表(它为三只单相电度表的组合)来测量</p> <p>②接线如下图所示</p>

(续)

序号	类别	说明
3	三相三线制电路有功电能的测量	<p>①采用三相两元件有功电度表(它为两只单相电度表的组合)来测量</p> <p>②接线如下图所示</p> 
4	三相三线制电路无功电能的测量	<p>采用三相两元件无功电度表测量。常用的三相两元件无功电度表有下列两种结构型式</p> <p>①具有电流差接线的两元件三相无功电度表,其接线如下图所示,每一元件都有两个电流线圈,其电流磁通由这两个线圈的电流差产生</p>  <p>②具有 60°相位差接线的两元件三相无功电度表,其接线如下图所示。所谓“60°相位差接线”,是电度表的电压线圈串联了一个附加电阻,人为地使电压回路的电流 i 滞后于电压 \dot{U} 60°。如电压线圈不串联附加电阻,电压回路电流可认为是纯电感电流,滞后于电压 90°</p> 

4. 电阻的测量 如表 JC7-12 所示。

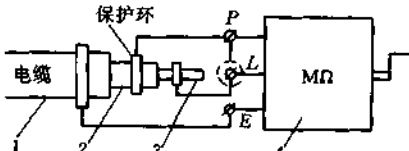
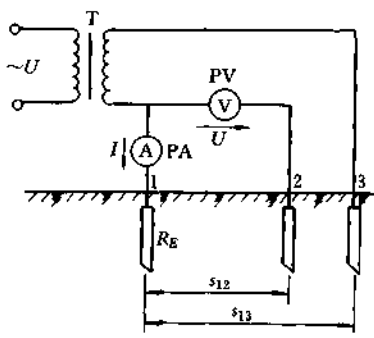
表 JC7-12 电阻的测量

序号	类别	说明
1	电阻大小分类	
1.1	小电阻	指 1Ω 以下电阻。一般采用双臂电桥测量
1.2	中电阻	指 $1\Omega \sim 0.1M\Omega$ 的电阻。一般可用万用表粗略测量,或用“伏安法”间接测量。精确测量应采用单臂电桥
1.3	大电阻	指 $0.1M\Omega$ 以上电阻。一般采用兆欧表测量
2	中电阻的测量	
2.1	采用万用表测量	将万用表的转换开关扳至适当量程的欧姆档进行测量(参看表 JC7-8 序号 14)。这种测量误差较大
2.2	采用“伏安法”间接测量	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;"> <p>电流表在前的接线</p>  <p style="text-align: right;">$R_x \approx \frac{U}{I}$</p> <p>适于 $R_x \ll R_V$ 的情况</p> </div> <div style="width: 30%;"> <p>电压表在前的接线</p>  <p style="text-align: right;">$R_x \approx \frac{U}{I}$</p> <p>适于 $R_x \gg R_A$ 的情况</p> </div> </div>
	采用单臂电桥测量	<p>①直流单臂电桥又称“单[比]电桥”或“惠斯登电桥”。其测量电路如右图所示</p> <p>②按下按键 SB1、SB2,调节 R_1、R_2 和 R,使通过检流计 P 的电流为零,即检流计 P 指零时,电桥达到平衡。这时 $R_1/R_2 = R/R_x$,因此被测电阻为</p> $R_x = R \left(\frac{R_2}{R_1} \right)$ <p>式中, R_1、R_2 称为“比臂电阻”, R 称为“较臂电阻”</p> 
3	小电阻的测量	
3.1	采用双臂电桥测量	<p>①双臂电桥又称“双[比]电桥”,亦称“汤姆生电桥”或“开尔文电桥”(此电桥为英国人 W·汤姆生发明,后他晋封为开尔文勋爵,故其电桥有汤姆生电桥和开尔文电桥两个名称)。其测量电路如右图所示</p> <p>②双臂电桥特点:它消除了单臂电桥中被测电阻 R_x 接入电桥时其接线电阻和接触电阻对被测电阻值的影响,这种影响在小电阻测量中是不容忽略的</p> 

22B

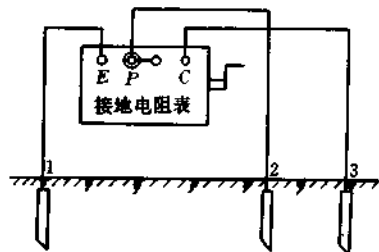
供电工程师手册

(续)

序号	类别	说明
3	小电阻的测量	
3.1	采用双臂电桥测量	<p>由双臂电桥测量电路可知,被测的小电阻 R_x 和标准电阻 R_n 各有两个电流端钮 C_{x1}, C_{x2} 和 C_{n1}, C_{n2}, 并各有两个电位端钮 P_{x1}, P_{x2} 和 P_{n1}, P_{n2}。电流端钮 C_{x1}, C_{x2} 的接触电阻包含在电源 E 的回路中, 电流端钮 C_{n1}, C_{n2} 的接触电阻包含在电阻 r 的支路中, 对测量结果均无影响。电位端钮 P_{x1} 和 P_{x2} 的接线电阻和接触电阻分别包含在电阻 R_1 和 R_2 中, 电位端钮 P_{n1} 和 P_{n2} 的接线电阻和接触电阻分别包含在 R_3 和 R_4 中, 而 R_1, R_2, R_3, R_4 均不小于 10Ω, 因此其影响均可忽略不计</p> <p>③按下按键 SB1, SB2, 调节 R_1, R_2 和 R_3, R_4 (设计中使 $R_1/R_2 = R_3/R_4$), 并调节 R_n, 使检流计 P 指零, 这时电桥平衡。被测小电阻可由下式求得:</p> $R_x = R_n \left(\frac{R_2}{R_1} \right) = R_n \left(\frac{R_4}{R_3} \right)$ <p>式中, $R_1 \sim R_4$ 称为“比臂电阻”; R_n 称为“较臂电阻”或“标准电阻”</p>
4	大电阻的测量	
4.1	采用兆欧表测量	<p>①兆欧表的结构和接线参看表 JC7-8 的序号 11</p> <p>②大电阻一般为绝缘电阻。测量绝缘电阻时, 要注意消除绝缘体表面电流对测量结果的影响。这就须借助兆欧表上的“保护”(P)端钮。用兆欧表测量电缆绝缘电阻的接线如右图所示</p> <p>③用兆欧表来测量电气设备或线路的绝缘电阻时, 应先断开设备或线路的电源及线路的负载, 并在检查设备或线路上无人工作及无外物搭接时, 才能进行摇测。摇测以后, 应对摇测的设备和线路进行放电, 以免人员触及, 电击伤人</p>
		 <p>1—电缆外皮 2—绝缘层 3—电缆线芯 4—兆欧表</p>
5	接地电阻的测量	
5.1	采用电流表、电压表间接测量	<p>①接地电阻指接地电流经接地装置(接地体或接地网)流入大地所呈现的电阻, 包括接地装置电阻和地中散流电阻, 但主要为地中散流电阻。地中散流电阻的计算范围为距接地点半径为 $20m$ 的圆圈内</p> <p>②采用电流表、电压表间接测量接地电阻的电路如右图所示</p> <p>图中 $s_{12} = (0.5 \sim 0.6) s_{13}$, $s_{13} = (4 \sim 5) D \geq 20m$, 式中 D 为接地网直径。如按上述要求布置有困难时, s_{12}, s_{13} 可适当缩小, 但 s_{13} 不宜小于 $20m$</p> <p>③接地电阻 $R_E = U/I$</p> <p>④测量时, 应将接地体的引下线(即接地体与电气装置的连接线)断开</p>
		 <p>1—被测接地体 2—探测电极 3—辅助电极 T—隔离变压器 PA—电流表 PV—电压表</p>

(续)

序号	类别	说明
5	接地电阻的测量	
5.2	采用接地电阻表测量	<p>①采用接地电阻表(俗称“接地摇表”)测量接地电阻的电路如右图所示</p> <p>②接地电阻 $R_x = KR$</p> <p>式中, R 为表上读数, K 为所选倍率</p> <p>③测量时也应将接地体的引下线断开。关于各极间距离, 与序号 5.1 的要求相同</p>

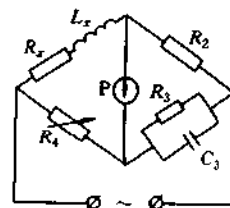
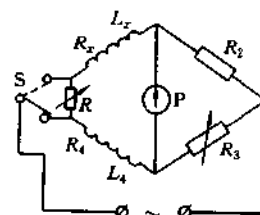
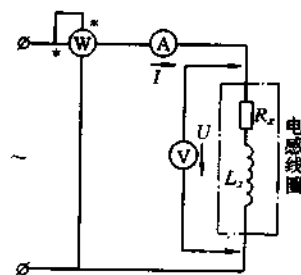


1—被测接地体 2—探测电极
3—辅助电极

5. 电感和电容的测量 如表 JC7-13 所示。

表 JC7-13 电感和电容的测量

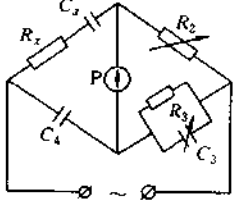
序号	类别	说明
1	电感的测量	
1.1	采用“三表法”间接测量	<p>①测量电路如右图所示</p> <p>②被测线圈的参数</p> <p>a. 电阻 $R_x = \frac{P}{I^2}$, 式中, P 为测得的有功功率</p> <p>b. 电感 $L_x = \frac{1}{\omega I} \sqrt{U^2 - \left(\frac{P}{I}\right)^2}$</p> <p>式中 $\omega = 2\pi f$</p> <p>c. 品质因数 $Q = \frac{X_{L_x}}{R_x} = \frac{\omega L_x}{R_x}$</p>
1.2	采用交流电桥测量	
	适于 Q 值较小的电感测量	<p>①测量电桥如右图所示</p> <p>②被测线圈的参数:</p> <p>a. 电阻 $R_x = R_4 \frac{R_2}{R_3} - R$</p> <p>b. 电感 $L_x = L_4 \frac{R_2}{R_3}$</p> <p>c. 品质因数 $Q = \frac{\omega L_4 R_2}{R_2 R_4 - R R_3}$</p>
	适于 Q 值较大的电感测量	<p>①测量电桥如右图所示</p> <p>②被测线圈的参数</p> <p>电阻: $R_x = \frac{R_2 R_4}{R_3}$</p> <p>电感: $L_x = R_2 R_4 C_3$</p> <p>品质因数 $Q = \omega C_3 R_2$</p>



(续)

序号	类别	说明
1	电感的测量	
1.2	采用交流电桥测量	
	适于高 Q 值的电感测量	<p>①测量电桥如右图所示</p> <p>②被测线圈的参数</p> <p>电阻: $R_x = R_2 R_3 R_4 \frac{(\omega C_3)^2}{1 + (\omega C_3 R_3)^2}$</p> <p>电感: $L_x = R_2 R_4 \frac{C_3}{1 + (\omega C_3 R_3)^2}$</p> <p>品质因数: $Q = \frac{1}{\omega C_3 R_3}$</p> <p>当 $Q \gg 11$ 时, 式中 $\frac{1}{1 + (\omega C_3 R_3)^2} \approx 1$</p>
	适于高精度的电感测量	<p>①测量电桥如右图所示</p> <p>②被测线圈的参数</p> <p>电阻: $R_x = \frac{C_3}{C_4} R_2 - R_1$</p> <p>电感: $L_x = R_2 R_4 C_3$</p> <p>品质因数: $Q = \frac{\omega L_x}{R_x} = \frac{R_2 R_4 C_3 C_4}{C_3 R_2 - C_4 R_1}$</p>
2	电容的测量	
2.1	采用“两表法”间接测量	<p>①测量电路如右图所示</p> <p>②被测电容值</p> $C_x = \frac{I}{\omega U} = \frac{I}{2\pi f U}$
2.2	采用交流电桥测量	
	适于损耗较小的电容测量	<p>①测量电桥如右图所示</p> <p>②被测电容的参数</p> <p>电容: $C_x = C_4 \frac{R_3}{R_2}$</p> <p>电阻: $R_x = R_4 \frac{R_2}{R_3}$</p> <p>损耗角: $\tan \delta = \omega C_4 R_4$</p>
	适于损耗较大的电容测量	<p>①测量电桥如右图所示</p> <p>②被测电容的参数</p> <p>电容: $C_x = C_4 \frac{R_3}{R_2}$</p> <p>电阻: $R_x = R_4 \frac{R_2}{R_3}$</p> <p>损耗角: $\tan \delta = \omega C_4 R_4$</p>

(续)

序号	类别	说明
2	电容的测量	
2.2	采用交流电桥测量 适于绝缘材料介质损耗的测量	<p>①测量电桥如右图所示</p> <p>②被测材料的参数</p> <p>电容: $C_x = C_4 \frac{R_3}{R_2}$</p> <p>电阻: $R_x = R_2 \frac{C_3}{C_4}$</p> <p>损耗角正切: $\tan\delta = \omega C_3 R_3$</p> 
	备注	$\tan\delta$ 为介质损耗角 δ 的正切, 它等于电容(或材料)漏电电阻与其容抗的比值

主要参考文献

- 1 华中工学院电磁测量教研室编. 常用电工仪表与测量. 北京: 机械工业出版社, 1985
- 2 陈立周编. 电气测量. 北京: 机械工业出版社, 1994
- 3 刘介才, 欧阳珂编. 电工基础与测量(讲义), 1972
- 4 刘介才, 吕广丽编. 电工实验讲义. 1987
- 5 机械工程手册、电机工程手册编委会编. 电机工程手册第1、8卷. 北京: 机械工业出版社, 1982
- 6 机械工程手册、电机工程手册编委会编. 电气工程师手册. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 7 贺天枢、赵叔玉编译. IEC 电工电子标准术语词典. 北京: 中国标准出版社, 1992

八、电子技术基础 (JC8)

(一) 常用的电子技术名词术语

供电技术中较常用的电子技术名词术语，如表 JC8-1 所示。

表 JC8-1 常用的电子技术名词术语

序号	名词术语	含 义 说 明
1	电子元件 electronic element	指电子电路中使用的，作为电路的基本参数（电阻、电感、电容等）的元件，亦称“电子电路元件”。一般指电阻器、电容器、线圈、变压器等，习惯上也指电子管插座、插头、开关等
2	无源元件 passive element	指所吸收的能量只能是正值或零的电路元件，如电阻器、电容器、电感器等
3	有源元件 active element	指其等效电路中含有电源的电路元件。它对电压或电流能起控制或交换作用，如晶体管等
4	电子器件 electronic device	指主要是由电子在真空、气体或半导体中的运动来实现电传导的一种器件，包括电真空器件和固体电子器件两类。电真空器件指利用真空或稀薄气体中发生的导电现象或其效应而制成的电子器件，如电子管、稳压管等，固体电子器件指利用和控制电子在固体中的运动或能量状态的改变而起各种作用的电子器件，最常见的为半导体器件，如晶体管等
5	电子管 electronic tube	指在密封管壳内的真空中或气体介质中的电子或离子在电极之间实现电传导的一种电子器件，但只作照明用的器件（电光源）除外。电子管分真空管和离子管（或称“充气管”）两种。前者管内抽成高度真空，利用和控制电子在真空中的运动而工作；后者管内在抽成真空后充以少量惰性气体或汞蒸气，利用和控制离子在其中的运动而工作。具有一个或几个控制极（栅极）的离子管，称为“闸流管”
6	电子束管 electron-beam tube	指性能取决于一个或多个电子束（电子束为大致按同一方向运动的加速电子群）的形成和控制的一种电子管，示波管、显象管均为典型的电子束管
7	光电管 phototube	指在光的照射下，阴极能发射电子，电子被阳极吸收形成电流，且电流大小随光的强弱而变化的一种电子管。按管内充气与否分真空光电管和充气光电管两种。在光的照射下产生电流或电流变化的现象，则称为“光电效应”
8	半导体器件 semiconductor device	指由于半导体内载流子（参看序号 12）的流动而形成其基本特性的一种器件。它为最常见的一种固体电子器件。其种类繁多，包括半导体二极管、半导体整流器件、半导体三极管、光敏电阻、热敏电阻、半导体光电池、半导体温差发电器、半导体致冷器、半导体激光器、半导体微波功率源及半导体集成电路等。半导体器件大都具有体积小、耗电少、耐振动、寿命长和可靠性高等优点，为新能源的开拓、电子设备的微型化及生产自动化等创造了条件，因而在实现工业现代化和发展尖端科学的事业中占有很重要的地位

(续)

序号	名词术语	含 义 说 明
9	晶体管 transistor	一般指半导体三极管。但习惯上用来泛指半导体二极管和半导体三极管
10	场效应晶体管 field-effect transistor	指利用输入电压的电场控制垂直方向输出电流的一种半导体器件,简称“场效应管”。由于只有一种极性的载流子参与导电过程,因此又称为“单极型晶体管”。它分为结型场效应管和绝缘栅型场效应管(又称“金属-氧化物-半导体场效应管”,简称“MOS场效应管”),均可作放大、振荡、开关等应用,其特点是输入电阻高、噪声小、耗电少、热稳定性好和抗辐射能力强
11	电极 electrode	指能够发射电子或离子、收集电子或离子、或以电场控制电子或离子运动的一种或多种功能的导电元件(对电真空器件)或导电部分(对半导体器件)
12	载流子 charge carrier	指半导体中的自由传导的电子、空穴或离子
13	扩散运动 diffusion motion	指载流子从浓度高的区域向浓度低的区域的运动
14	漂移运动 drift motion	指载流子在电场作用下的定向运动
15	空穴 hole	指由于电子被从绝缘体或半导体的原子结构中排出而形成的瞬态空位。空穴属于一种载流子,其电荷与电子相同但符号相反
16	空穴导电 hole conduction	指在电场作用下,半导体晶体中的空穴在晶格中运动所引起的导电
17	电子导电 electron conduction	指在电场作用下,半导体晶体中的传导电子穿过晶格所引起的导电
18	杂质 impurity	指元素半导体或化合物半导体中的异类原子
19	本征半导体 intrinsic semiconductor	指纯净的、内部原子排列有规则的半导体
20	杂质半导体 impurity semiconductor	指本征半导体中掺入微量特定杂质的半导体
21	P型半导体 P-type semiconductor	指在纯净的硅或锗中掺入微量的三价杂质元素所形成的杂质半导体。其中空穴浓度比电子浓度大得多,空穴是多数载流子,电子为少数载流子,主要靠空穴导电,故又称“空穴型半导体”
22	N型半导体 N-type semiconductor	指在纯净的硅或锗中掺入微量的五价杂质元素所形成的杂质半导体。其中电子浓度比空穴浓度大得多,电子是多数载流子,空穴为少数载流子,主要靠电子导电,故又称“电子型半导体”
23	PN结 PN junction	将一块半导体的一侧掺杂成为P型半导体,另一侧掺杂成为N型半导体,则在两者的交界处就会形成一层特殊的薄层,该薄层就称为“PN结”

(续)

序号	名词术语	含 义 说 明
24	PN 结电容 PN junction capacity	为由 PN 结的空间电荷区形成的“势垒电容”和由多数载流子在扩散过程中积累而引起的“扩散电容”的总称
25	齐纳击穿 Zener breakdown	指在反向强电场作用下, PN 结中共价键(即两个共有价电子所形成的束缚作用)的电子被强拉出来, 形成大量的电子-空穴对, 使载流子突然增多导致击穿的现象, 亦称“隧道击穿”
26	雪崩击穿 avalanche breakdown	指在反向强电场作用下, PN 结中少数载流子获得足够动能, 将更多的价电子从共价键中撞出来, 产生新的电子-空穴对, 这些电子-空穴对又去撞击其它价电子, 结果发生如同雪崩一样的连锁反应, 使反向电流剧增导致击穿的现象
27	电力电子器件 power electronic device	指用于电能变换和电能控制电路中的大功率(通常指电流为几十安至几千安、电压为几百伏以上)电子器件, 又称“功率电子器件”。20 世纪 50 年代的电力电子器件主要是汞弧整流器和大功率电子管。60 年代发展起来的晶闸管由于工作可靠、寿命长、体积小、开关速度快, 因而在电力电子电路中得到广泛应用, 现已取代汞弧整流器
28	晶闸管 thyristor	指具有三个或更多个 PN 结, 能从断态转入通态或从通态转为断态的双稳态半导体器件。全称“晶闸管”或“闸流晶体管”, 俗称“可控硅”
29	稳压管 voltage stabilizing tube	①通常指用来稳定电压的半导体二极管。这种二极管在一定的反向电压下被击穿后, 即使反向电流再增大, 其端电压也基本不变, 因而起稳压作用。②亦指用来稳定电压的一种冷阴极充气二极管(属电子管类), 利用其辉光放电的特性来实现稳压的作用
30	辉光放电 glow discharge	指在低压气体中显示辉光的放电现象。辉光放电的特征是所需的电压很高而电流密度很小
31	弧光放电 arc discharge	指在气体中显示弧形白光、产生高温的一种气体放电现象。它通常在大气压强下发生, 其特征是所需的电压不高而电流很大
32	导通 on-state	指电子管、晶体管或晶闸管处于低电阻的状态, 开始有电路电流通过
33	截止 cut-off	指电子管、晶体管或晶闸管处于高电阻的状态, 阻断电路电流通过
34	触发 triggering	指为了使晶闸管导通而进行的控制操作
35	电子电路 electronic circuit	指由电子元件和电子器件组成的电路。电子电路种类繁多, 包括整流、放大、振荡、调制、检波、频率变换、波形变换等电路以及各种控制电路, 广泛用于各种电子设备中, 在工厂供电系统中也应用广泛
36	整流电路 rectifier circuit	指利用整流元件(整流二极管)的单向导电性, 将正负交替的交流电流变换为单向脉动的直流电流(AC/DC)的电子电路。具有这种整流功能的装置, 则称为“整流器”
37	放大电路 amplifier circuit	指能将弱的输入信号(电压、电流或功率)变换为强的输出信号的电子电路。具有这种放大功能的装置, 则称为“放大器”
38	振荡电路 oscillator circuit	指能产生一定频率、频带以及一定波形的振荡电流的电子电路。具有这种振荡功能的装置, 则称为“振荡器”

(续)

序号	名词术语	含 义 说 明
39	调制电路 modulator circuit	指能使一个信号的某些参数(如振幅、频率等)按照另一个信号(称为“调制信号”)的变换规律而变化的电子电路。具有这种调制功能的装置,则称为“调制器”
40	检波电路 detector circuit	指能将已调幅的高频信号还原成原来被调制信号的电子电路。具有这种检波功能的装置,则称为“检波器”
41	逆变电路 inverted circuit	指能将直流电流变换为交流(DC/AC)的电子电路。现在多由晶闸管(参看序号28)来实现。具有这种逆变功能的装置,则称为“逆变器”
42	稳压电路 voltage stabilizing circuit	指能稳定电压的电子电路。一般由稳压管(参看序号29)来实现。具有稳压功能的装置,则称为“稳压器”。稳压器除有电子稳压器外,尚有稳压变压器
43	电力电子电路 power electronic circuit	指利用电力电子器件对电力电能进行变换和控制的大功率电子电路。由于电力电子电路中设有旋转元、部件,因此它又称为“静止式变流电路”,以区别于传统的由电动机—发电机组成的变流电路。按其电能变换功能来分,有下列四种:①整流电路(AC/DC变换电路);②逆变电路(DC/AC变换电路);③交流变换电路(AC/AC变换电路,调压式变频);④直流变换电路(DC/DC变换电路,改变电压大小和方向)
44	集成电路 integrated circuit (简称 IC)	指将若干电路元件(这些电路元件没有外壳或外部联接)不可分离地连接在一起,并在电气上互联,以致对于制定技术条件、试验、使用和维修来说,均可视为不可分割的整体的一种电路。集成电路是一种微型电子器件,它使电子元件向微型化、低功耗和高可靠性方面迈进了一大步。用集成电路来装配电子设备,其装配密度比分立电路(discrete circuit)可提高几十倍到几千倍,设备的稳定工作时间也可大大提高。习惯上将一百个以上的门电路(参看序号48)或一千个以上的晶体管集成在一块晶片上,并互联成具有一个系统或分系统功能的电路,称为“大规模集成电路(large scale integrated circuit,简称 LSIC)。将每块晶片集成一万个以上门电路或十万个以上晶体管的集成电路,则称为“超大规模集成电路”(very large scale integrated circuit,简称 VLSIC)
45	半导体集成电路 semiconductor integrated circuit	指在半导体晶片(一般为硅片)上,用氧化、扩散、光刻、外延和蒸发等工艺做成晶体管、二极管、电阻和电容等元件并用某种隔离技术使它们互相电绝缘,同时在晶片表面用金属薄膜使有关元件按需要互相连接,最后封装在一个管壳里构成的一个集成电路。半导体集成电路制造简便,成本低廉,可靠性高,体积也较小,是目前集成电路中生产和应用最多的一种
46	模拟集成电路 analog integrated circuit	指用来处理各种连续可变的模拟量的一种集成电路,又称“线性集成电路”
47	数字集成电路 digital integrated circuit	指专门用来处理数字量的一种集成电路,又称“逻辑集成电路”。这种集成电路的形式比较简单,元件精度要求不高,通用性强,集成度高,是半导体集成电路中用量最大的一个品种
48	门电路 gate circuit	指一种开关电路,当其输入信号满足某种条件时,才有信号输出,否则便无信号输出,即在其输入信号和输出信号之间存在着一定的因果关系即逻辑关系,因此门电路为一种逻辑电路,它对应于三种基本逻辑关系——与逻辑、或逻辑和非逻辑。基本的门电路有:①与门(AND gate);②或门(OR gate);③非门(NOT gate)(详见表 JC8-28)。在此三种门电路基础上,可以组成多种复合门电路。门电路是数字电路的基本逻辑单元

21B

职业技能鉴定

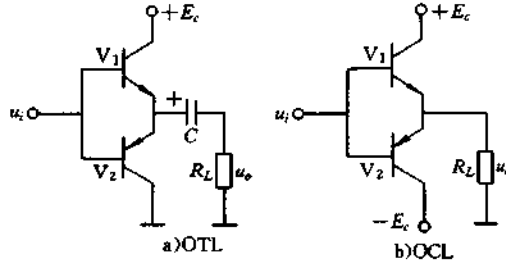
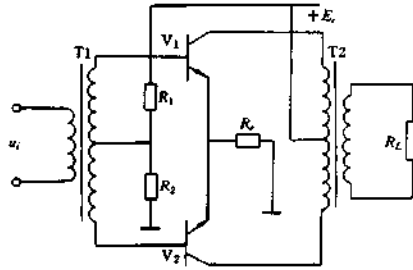
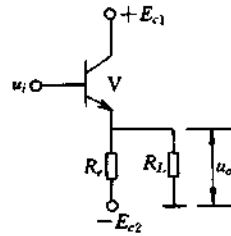
(续)

序号	名词术语	含 义 说 明
49	信息 information message	为向外界表达的思想、意图、语言、文字、图表、数据、动作、状态、情景等等内容的统称, 含“音信、消息”的意思
50	信号 signal	指“信息”的携带者。用一种变换设备将各种信息转换为随时间作相应变化的电压或电流进行传输, 这种携带着信息的电压或电流就称为“信号”(电信号)
51	模拟信号 analog signal	指幅度随时间呈连续变化的信号。处理模拟信号的电子电路, 称为“模拟电子电路”
52	数字信号 digital signal	指在时间和取值上都是离散的信号。处理数字信号的电子电路, 称为“数字电子电路”
53	差模信号 differential-mode signal	指相位相反、幅度相等的两个信号。在差动放大中, 常指有用的输入信号
54	共模信号 common-mode signal	指相位相同, 幅度相等的两个信号。在差动放大中, 用来表示无用的干扰信号
55	共模抑制比 common-mode rejection ratio (简称 CMRR)	指差模放大倍数与共模放大倍数之比。它是用来衡量差动放大器(参看序号 60)对共模信号抑制能力的一个指标
56	噪声 noise	指由于电子的持续杂乱运动或冲击性的杂乱运动而在电路中形成的频率范围相当宽的杂波。例如电子在热作用下的杂乱运动将产生持续存在的噪声; 雷电及电火花感应到电路中, 会产生冲击性的噪声
57	信噪比 signal-to-noise ratio	指信号与噪声之比。通常用有用信号功率与噪声功率之比的对数来表示, 单位为“分贝”(dB)
58	电平 level	指一种表示电量(电流、电压或电功率)相对大小的参数。通常指定某一电量的数值作为基准值, 以其它数值与此基准值相比的对数值来表示电平值。其比值的常用对数的电平单位为“分贝”(dB)。通常取 1mW 为功率的基准值, 因此假设所给功率为 10mW 时, 则其电平值为: $10\lg \frac{\text{所给功率}}{\text{基准功率}} = 10\lg \frac{10}{1} = 10\text{dB}$ 假设所给功率为 100mW, 则其电平值为: $10\lg \frac{100}{1} = 20\text{dB}$
59	功率放大器 power amplifier	指用以获得足够大的信号功率输出的放大器。其主要技术要求是: 输出功率大, 效率高, 输出波形的失真限定在允许范围内
60	差动放大器 differential amplifier	指由两只特性相同的放大管及相应元件直接耦合而成的放大器。它是直流放大器中能够比较理想地抑制“零点漂移”(参看序号 65)的一种电路

二十一

(续)

序号	名词术语	含 义 说 明
61	甲类功率放大器 class A power amplifier	<p>指在整个周期 (即 $\omega t = 2\pi$) 内都有信号电流流过功率放大管的放大器。其原理电路如图所示 (有的负载电阻经变压器与放大器耦合)。其静态工作点 (参看序号 67) 通常设置在负载线的中央, 静态电流较大, 损耗大, 效率低, 输出功率小。现很少应用</p>
62	乙类功率放大器 class B power amplifier	<p>指在半个周期 (即 $\omega t = \pi$) 内有信号电流流过功率放大管的放大器。它有两种类型: ①变压器耦合功率放大器, 其原理电路如下图所示。它由两只完全相同的晶体管组成“推挽式”, 因此又称“乙类推挽放大器”。其基极没有偏置电路, 因此不加输入信号时, 两只晶体管不消耗功率。有输入信号时, 则通过输入变压器 T1 的作用, 使两管分别在信号的正、负半周导电, 最后通过输出变压器 T2 恢复信号的原波形, 并输出放大的信号功率。但由于变压器会产生频率失真和相位失真, 且在输入信号幅度较小时, 晶体管存在死区电压, 致使输出信号波形出现“交越失真” (参看序号 66)。②无输出变压器功率放大器 (简称“OTL”) 和无输出电容的功率放大器 (简称“OCL”), 它们都是由一只 PNP 管和一只 NPN 管互补组成的乙类射极输出放大器, 其原理电路如下列图 a 和图 b 所示。与变压器耦合功率放大器相比, 它们具有体积小、效率高、失真小等优点, 是功率放大器的发展方向</p>
63	甲乙类功率放大器 class AB power amplifier	<p>指在明显大于半个周期但小于一个周期 (即 $\pi < \omega t < 2\pi$) 内都有信号电流流过功率放大管的放大器。其静态工作点比甲类放大器低而比乙类放大器稍高, 无“交越失真”现象</p>
64	运算放大器 operation amplifier	<p>指一种具有高放大倍数、高输入阻抗和低输出阻抗、带有深度电压负反馈的直接耦合放大器。它加上一些外部元件, 可构成加、减法电路和微、积分电路等多种运算电路</p>
65	零点漂移 zero drift	<p>指将直接耦合放大电路的输入端对地短路且无输入信号时, 输出端电压出现随时间作不规则晃动的现象</p>



(续)

序号	名词术语	含 义 说 明
66	交越失真 intermodulation distortion	指乙类推挽功率放大器的静态电流为零, 没有直流偏压, 两管交替工作区域因晶体管存在死区电压造成信号正负半周衔接不好的现象
67	静态工作点 static working point	当输入交流信号为零时, 放大器各级的电压、电流都是不变的直流, 称为“静态”。静态时, 晶体管各电极的电压、电流值对应于三极管特性曲线上确定的一点, 该点称为“静态工作点”
68	直流负载线 D. C. load line	指表示放大器输出回路直流通道中的电压与电流关系的一条直线。因该直线的斜率由直流通道中的负载电阻确定, 故名
69	交流负载线 A. C. load line	指表示放大器输出回路交流通道中的电压与电流关系的一条直线, 因该直线的斜率由交流通道中的等效交流负载电阻确定, 故名
70	反馈 feedback	指将电路输出端信号(电压或电流)的一部分或全部, 回送到输入端的过程, 亦称“回授”。通过反馈, 使输入信号强度增强的, 称为“正反馈”; 而使输入信号强度减弱的, 称为“负反馈”
71	二进制 binary number system	数的一种表示法, 是用两个数码 0、1 的组合来表示的, 且相邻两位的进位关系是逢二进一
72	二进制 binary-coded decimal	指将十进制的每位数, 用四位二进制数码的相应组合来表示的方法
73	编码 coding	指用文字、符号或数码来表示特定对象的过程
74	解码 decoding	指将编码时赋予代码的特定含义“翻译”出来的过程, 又称“译码”
75	组合逻辑 combinational logic	指逻辑电路中任何时刻输出信号的稳态值都与电路原来的状态无关, 仅取决于该时刻各个输入信号取值的组合。这种逻辑电路称为“组合逻辑电路”
76	时序逻辑 sequential logic	指逻辑电路中任何时刻的稳定输出, 不仅取决于该时刻的输入, 还与电路原来的状态有关。这种逻辑电路称为“时序逻辑电路”
77	正逻辑 positive logic	指数字电路中, 对电压功能表(反映输入、输出电平高低时对应关系的表格)进行状态赋值(用 1、0 表示输入、输出电平高低的过程), 若用 1 表示高电平, 0 表示低电平, 称为“正逻辑赋值”, 简称“正逻辑”
78	负逻辑 negative logic	指数字电路中, 对电压功能表进行状态赋值时, 若用 0 表示高电平, 1 表示低电平, 称为“负逻辑赋值”, 简称“负逻辑”
79	触发器 flip-flop	指具有两种稳定状态, 在一定外界信号作用下, 就会使输出状态改变, 无外界信号作用时, 维持原来的稳定状态不变的一种电路。触发器是一种具有记忆能力的基本单元电路

(续)

序号	名词术语	含 义 说 明
80	计数器 counter	对输入脉冲具有记忆作用的过程,称为“计数”。实现计数操作的电路则称为“计数器”
81	译码器 decoder	指实现“译码”(参看序号74)操作的电路
82	D/A 转换电路 digital to analog converter	指将数字量(变化不连续,只能按单位作增减的量)转换为相应模拟量(随时间连续变化的物理量)的电路,亦称“数/模转换器”
83	A/D 转换电路 analog to digital converter	指将模拟量转换为相应数字量的电路,亦称“模/数转换器”
84	开关稳压电源 switching voltage regulator	指调整管工作在开关状态下的串联型开关式稳压装置。与常用串联型稳压电源相比,它具有效率高(前者为80%~95%,后者为40%~60%),体积小、重量轻等优点,在电子计算机和电视中得到越来越广泛的应用。但它有输出纹波大、电路复杂和对周围产生射频干扰等缺点,有待改进
85	无电源变压器电源 non-transformer power supply	指利用可控整流而直接获得直流电压后再配以滤波和稳压电路组成的直流电源。与一般直流电源相比,它不用电源变压器,具有效率高、体积小、重量轻和成本低等优点
86	电位器 potentiometer	指一种可用作连续调节分压器的可变电阻器。它一般有三个接头,其中两个固定在两端,一个在中间接于活动的接触臂。将两端接头接于一个电压,转动接触臂就能调节接触臂与任一固定端之间的电压

(二) 电子元、器件

1. 常用电子元、器件的型号编制 如表 JC8-2 所示。

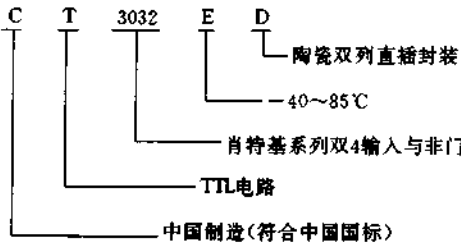
表 JC8-2 常用电子元器件的型号编制 (据 GB249—89 等)

序号	项 目	说 明														
1	晶体管的型号编制 (据 GB249—89)															
1.1	型号的组成格式															
1.2	第二部分 符号含义	<table border="1"> <tr> <td>二极管</td> <td>A</td> <td>B</td> <td>C</td> <td>D</td> </tr> <tr> <td></td> <td>N 型锗材料</td> <td>P 型锗材料</td> <td>N 型硅材料</td> <td>P 型硅材料</td> </tr> </table>	二极管	A	B	C	D		N 型锗材料	P 型锗材料	N 型硅材料	P 型硅材料				
		二极管	A	B	C	D										
	N 型锗材料	P 型锗材料	N 型硅材料	P 型硅材料												
	<table border="1"> <tr> <td>三极管</td> <td>A</td> <td>B</td> <td>C</td> <td>D</td> <td>E</td> </tr> <tr> <td></td> <td>PNP 型锗材料</td> <td>NPN 型锗材料</td> <td>PNP 型硅材料</td> <td>NPN 型硅材料</td> <td>化合物材料</td> </tr> </table>	三极管	A	B	C	D	E		PNP 型锗材料	NPN 型锗材料	PNP 型硅材料	NPN 型硅材料	化合物材料			
三极管	A	B	C	D	E											
	PNP 型锗材料	NPN 型锗材料	PNP 型硅材料	NPN 型硅材料	化合物材料											
1.3	第三部分符号含义	<table border="1"> <tr> <td>P</td> <td>V</td> <td>W</td> <td>C</td> <td>Z</td> <td>L</td> <td>S</td> </tr> <tr> <td>小信号管</td> <td>混频检波器</td> <td>电压调整管和电压基准管</td> <td>变容管</td> <td>整流管</td> <td>整流堆</td> <td>隧道管</td> </tr> </table>	P	V	W	C	Z	L	S	小信号管	混频检波器	电压调整管和电压基准管	变容管	整流管	整流堆	隧道管
P	V	W	C	Z	L	S										
小信号管	混频检波器	电压调整管和电压基准管	变容管	整流管	整流堆	隧道管										

(续)

序号	项 目	说 明													
1	晶体管的型号编制 (据 GB249—89)														
1.3	第三部分符号含义	K	X	G	D	A									
		开关管	低频小功率管 ($f_c < 3\text{MHz}$, $P_c < 1\text{W}$)	高频小功率管 ($f_c \geq 3\text{MHz}$, $P_c < 1\text{W}$)	低频大功率管 ($f_c < 3\text{MHz}$, $P_c \geq 1\text{W}$)	高频大功率管 ($f_c \geq 3\text{MHz}$, $P_c \geq 1\text{W}$)									
		T	Y	B	J	CS	BT	FH	QL	SX					
		闸流管	体效应管	雪崩管	阶跃恢复管	场效应器件	特殊晶体管	复合管	硅桥式整流器	双向三极管					
		DH	SY	GS	GD	GT	GH	GK	GL						
		电流调整管	瞬态抑制二极管	光电子显示器	光敏二极管	光敏晶体管	光耦合器	光开关管	摄像线阵器件						
		GJ	GF	GR	ZL	PIN	GM								
激光二极管	发光二极管	红外发射二极管	整流管阵列	PIN型管	摄像面阵器件										
1.4	示例 1	<p>PNP型锗低频小功率三极管</p> <p>3 A X 31 B</p> <p>规格代号</p> <p>序号</p> <p>低频小功率管</p> <p>PNP型, 锗材料</p> <p>三极管</p>													
1.5	示例 2	<p>NPN型硅高频小功率三极管</p> <p>3 D G 6 C</p> <p>规格代号</p> <p>序号</p> <p>高频小功率</p> <p>NPN型, 硅材料</p> <p>三极管</p>													
2	半导体集成电路的型号编制 (据 GB3430—82)														
2.1	型号的组成格式	<table border="1"> <tr> <td>第0部分</td> <td>第一部分</td> <td>第二部分</td> <td>第三部分</td> <td>第四部分</td> </tr> <tr> <td>符合国家标准</td> <td>器件类型</td> <td>系列代号</td> <td>工作温度范围</td> <td>封装代号</td> </tr> </table>				第0部分	第一部分	第二部分	第三部分	第四部分	符合国家标准	器件类型	系列代号	工作温度范围	封装代号
第0部分	第一部分	第二部分	第三部分	第四部分											
符合国家标准	器件类型	系列代号	工作温度范围	封装代号											

(续)

序号	项 目	说 明												
2	半导体集成电路的型号编制 (据 GB3430—82)													
2.2	第 0 部分符号含义	C 中国制造 (表示器件符合中国国标)												
2.3	第一部分符号含义	T	H	E	C	F	D							
		TTL (晶体管-晶体 管逻辑电路)	HTL (高阈值 逻辑电路)	ECL (发射极耦合 逻辑电路)	CMOS (互补 MOS 电路)	线性 放大器	音响、电 视电路							
		W	J	B	M	μ							
		稳压器	接口电路	非线性电路	存储器	微型机电路							
2.4	第二部分符号含义	用阿拉伯数字表示器件系列和品种代号												
2.5	第三部分符合含义	C	E	R	M								
		0~70℃	-40~85℃	-55~85℃	-55~125℃								
2.6	第四部分符号含义	W	B	F	D	P								
		陶瓷扁平	塑料扁平	全密封扁平	陶瓷直插	塑料直插								
		J	K	T									
		黑陶瓷直插	金属菱形	金属圆形									
2.7	示例	肖特基 TTL 双 4 输入与非门 												
3	电阻器和电位器的型号编制 (据 GB2470—81)													
3.1	型号的组成格式	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">第一部分</td> <td style="text-align: center;">第二部分</td> <td style="text-align: center;">第三部分</td> <td style="text-align: center;">第四部分</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">主称</td> <td style="text-align: center;">材料</td> <td style="text-align: center;">分类</td> <td style="text-align: center;">序号</td> </tr> </table>					第一部分	第二部分	第三部分	第四部分	主称	材料	分类	序号
第一部分	第二部分	第三部分	第四部分											
主称	材料	分类	序号											
3.2	第一部分符号含义	R			W									
		电阻器			电位器									
3.3	第二部分符号含义	T	H	S	N	J								
		碳 膜	合成碳膜	有机实芯	无机实芯	金 属 膜								
		Y	C	I	X									
		氧化膜	沉积膜	玻璃釉膜	线 绕									

(续)

序号	项 目	说 明					
3	电阻器和电位器的型号编制 (据 GB2470—81)						
3.4	第三部分 符号含义		1	2	3	4	5
		电阻器	普 通	普 通	超 高 频	高 阻	高 温
		电位器	普 通	普 通	—	—	—
			6	7	8	9	G
		电阻器	—	精 密	高 压	特 殊	高 功 率
		电位器	—	精 密	特 殊 函 数	特 殊	—
			T	W	D		
		电阻器	可 调	—	—		
电位器	—	微 调	多 圈				
3.5	示例 1	<p style="text-align: center;">精密金属膜电阻</p> <p style="text-align: center;">R J 7 1 电阻器 金属膜 精密 序号</p>					
3.6	示例 2	<p style="text-align: center;">普通单圈线绕电位器</p> <p style="text-align: center;">W X 1 2 电位器 线绕 普通 序号</p>					
4	电容器的型号编制 (据 GB2470—81)						
4.1	型号的组成格式	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">第一部分</div> <div style="margin-top: 5px;">主 称</div> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">第二部分</div> <div style="margin-top: 5px;">材 料</div> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">第三部分</div> <div style="margin-top: 5px;">分 类</div> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">第四部分</div> <div style="margin-top: 5px;">序 号</div> </div> </div>					
4.2	第一部分符号含义	C 电 容 器					
4.3	第二部分符号含义	C	T	I	O	Y	
		高频瓷	低频瓷	玻璃釉	玻璃膜	云 母	
		V	Z	B	BF	LS	
		云母纸	纸 介	聚苯乙烯等非 极性有机薄膜	聚四氟乙烯非 极性有机薄膜	聚碳酸酯极 性有机薄膜	

(续)

序号	项 目	说 明					
4	电容器的型号编制 (据 GB2470—81)						
4.3	第二部分符号含义	J	Q	H	D	A	
		金属化纸	漆 膜	复合介质	铝电解质	钽电解质	
		N	G	L	E		
		钽电解质	合金电解质	涤纶等极性有机薄膜	其它材料电解质		
4.4	第三部分符号含义	符号	1	2	3	4	5
		瓷介	圆 片	管 形	叠 片	独 石	穿 心
		云母	非密封	非密封	密 封	密 封	
		有机	非密封	非密封	密 封	密 封	穿 心
		电解	箱 式	箱 式	烧结粉液体	烧结粉固体	
		符号	6	7	8	9	
		瓷介	支柱等		高 压		
		云母			高 压		
		有机			高 压	特 殊	
		电解		无 极 性		特 殊	
4.5	示例	符号	G	W			
		电容器	高 功率	微 调			
		<p style="text-align: center;">金属化涤纶电容器</p>					

2. 阻容元件型号规格的标注 如表 JC8-3 所示。

表 JC8-3 阻容元件型号规格的标注

序号	项 目	说 明
1	固定电阻器型号规格的标注	
1.1	标注格式	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">型号</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">—</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">额定功率</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">—</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">引线形式</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">—</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">标称值及允许偏差</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">—</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">标准代号</div> </div>
1.2	额定功率	指大气压为 $100 \pm 4 \text{ kPa}$ ($750 \pm 30 \text{ mmHg}$) 时, 在产品规定温度下, 电阻能长期连续负荷允许消耗的最大功率

(续)

序号	项 目	说 明																																																								
1	固定电阻器型号规格的标注																																																									
1.2	额定功率	电阻器额定功率系列																																																								
		<table border="1"> <tr> <th>名 称</th> <th>额定功率系列/W</th> </tr> <tr> <td>线绕电阻器</td> <td>0.05, 0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 10, 16, 25, 40, 50, 75, 100, 150, 250, 500</td> </tr> <tr> <td>非线绕电阻器</td> <td>0.05, 0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 5, 10, 25, 50, 100</td> </tr> </table>	名 称	额定功率系列/W	线绕电阻器	0.05, 0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 10, 16, 25, 40, 50, 75, 100, 150, 250, 500	非线绕电阻器	0.05, 0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 5, 10, 25, 50, 100																																																		
		名 称	额定功率系列/W																																																							
线绕电阻器	0.05, 0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 10, 16, 25, 40, 50, 75, 100, 150, 250, 500																																																									
非线绕电阻器	0.05, 0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 5, 10, 25, 50, 100																																																									
非线绕电阻器	0.05, 0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 5, 10, 25, 50, 100																																																									
1.3	标称值及允许偏差	元件上所标值即为“标称值”实测量与标称值之差称为“偏差”。或“误差”，规定允许的最大偏差称为“允许偏差”																																																								
		普通电阻的标称值系列和允许偏差																																																								
		<table border="1"> <tr> <th>系列</th> <th>允许偏差</th> <th colspan="6">电 阻 标 称 值</th> </tr> <tr> <td rowspan="4">E₂₄</td> <td rowspan="4">±5%</td> <td>1.0,</td> <td>1.1,</td> <td>1.2,</td> <td>1.3,</td> <td>1.5,</td> <td>1.6</td> </tr> <tr> <td>1.8,</td> <td>2.0,</td> <td>2.2,</td> <td>2.4,</td> <td>2.7,</td> <td>3.0</td> </tr> <tr> <td>3.3,</td> <td>3.6,</td> <td>3.9,</td> <td>4.3,</td> <td>4.7,</td> <td>5.1</td> </tr> <tr> <td>5.6,</td> <td>6.2,</td> <td>6.8,</td> <td>7.5,</td> <td>8.2,</td> <td>9.1</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">E₁₂</td> <td rowspan="2">±10%</td> <td>1.0,</td> <td>1.2,</td> <td>1.5,</td> <td>1.8,</td> <td>2.2,</td> <td>2.7</td> </tr> <tr> <td>3.3,</td> <td>3.9,</td> <td>4.7,</td> <td>5.6,</td> <td>6.8,</td> <td>8.2</td> </tr> <tr> <td>E₆</td> <td>±20%</td> <td>1.0,</td> <td>1.5,</td> <td>2.2,</td> <td>3.3,</td> <td>4.7,</td> <td>6.8</td> </tr> </table>	系列	允许偏差	电 阻 标 称 值						E ₂₄	±5%	1.0,	1.1,	1.2,	1.3,	1.5,	1.6	1.8,	2.0,	2.2,	2.4,	2.7,	3.0	3.3,	3.6,	3.9,	4.3,	4.7,	5.1	5.6,	6.2,	6.8,	7.5,	8.2,	9.1	E ₁₂	±10%	1.0,	1.2,	1.5,	1.8,	2.2,	2.7	3.3,	3.9,	4.7,	5.6,	6.8,	8.2	E ₆	±20%	1.0,	1.5,	2.2,	3.3,	4.7,	6.8
		系列	允许偏差	电 阻 标 称 值																																																						
		E ₂₄	±5%	1.0,	1.1,	1.2,	1.3,	1.5,	1.6																																																	
1.8,	2.0,			2.2,	2.4,	2.7,	3.0																																																			
3.3,	3.6,			3.9,	4.3,	4.7,	5.1																																																			
5.6,	6.2,			6.8,	7.5,	8.2,	9.1																																																			
E ₁₂	±10%	1.0,	1.2,	1.5,	1.8,	2.2,	2.7																																																			
		3.3,	3.9,	4.7,	5.6,	6.8,	8.2																																																			
E ₆	±20%	1.0,	1.5,	2.2,	3.3,	4.7,	6.8																																																			
示例	电阻器 RX70-0.5-51Ω±5%-SJ905-74																																																									
2	电位器型号规格的标注																																																									
2.1	标注格式	<table border="1"> <tr> <td>型号</td> <td>品种 代号</td> <td>额定 功率</td> <td>标称 阻值</td> <td>阻值 变化 特性</td> <td>轴长 和轴 端型 式</td> <td>标准 代号</td> </tr> </table>	型号	品种 代号	额定 功率	标称 阻值	阻值 变化 特性	轴长 和轴 端型 式	标准 代号																																																	
型号	品种 代号	额定 功率	标称 阻值	阻值 变化 特性	轴长 和轴 端型 式	标准 代号																																																				
2.2	示例	电位器 WJ-1-0.1W-470kΩ-X-60ZS-2-SJ283-73																																																								
3	电容器型号规格的标注																																																									
3.1	标注格式	<table border="1"> <tr> <td>型号</td> <td>品种 代号</td> <td>温度 系数 组别</td> <td>额定 直流 工作 电压</td> <td>标称 容量 及允 许偏 差</td> <td>标准 代号</td> </tr> </table>	型号	品种 代号	温度 系数 组别	额定 直流 工作 电压	标称 容量 及允 许偏 差	标准 代号																																																		
型号	品种 代号	温度 系数 组别	额定 直流 工作 电压	标称 容量 及允 许偏 差	标准 代号																																																					
3.2	温度系数组别	用一个字母和一个数字表示，字母表示负极限温度，数字表示正极限温度，如下表所示																																																								
		电容器的工作温度组别																																																								
		<table border="1"> <tr> <th>正 温</th> <th>数字代号</th> <th>0</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> </tr> <tr> <td></td> <td>温度范围/℃</td> <td>+55</td> <td>+70</td> <td>+85</td> <td>+100</td> <td>+125</td> <td>+155</td> <td>+200</td> </tr> </table>	正 温	数字代号	0	1	2	3	4	5	6		温度范围/℃	+55	+70	+85	+100	+125	+155	+200																																						
		正 温	数字代号	0	1	2	3	4	5	6																																																
	温度范围/℃	+55	+70	+85	+100	+125	+155	+200																																																		
<table border="1"> <tr> <th>负 温</th> <th>字母代号</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> <th>E</th> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>温度范围/℃</td> <td>-10</td> <td>-25</td> <td>-40</td> <td>-55</td> <td>-65</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	负 温	字母代号	A	B	C	D	E				温度范围/℃	-10	-25	-40	-55	-65																																										
负 温	字母代号	A	B	C	D	E																																																				
	温度范围/℃	-10	-25	-40	-55	-65																																																				

(续)

序号	项 目	说 明
3	电容器型号规格的标注	
3.3	额定直流工作电压	指电容器长期可靠地工作而不被击穿, 所能承受的最大直流电压。固定电容器的额定直流工作电压应按部颁标准 SJ615-73 规定选用, 如下表所示 固定电容器额定直流工作电压系列 (凡注有 * 符号的电压值, 只限电解电容器采用) (V)
		1.6, 4, 6.3, 10, 16, 25, 32*, 40,
		50*, 63, 100, 125*, 160, 250, 300', 400,
		450*, 500, 630, 1000, 1600, 2000, 2500, 3000,
		4000, 5000, 6300, 8000, 10000, 15000, 20000, 25000, 30000, 40000, 45000, 50000, 60000, 80000, 100000
3.4	示例	电容器 CY-1-D4-250-180±5%

3. 晶体三极管主要参数的符号及其含义 如表 JC8-4 所示。

表 JC8-4 晶体三极管主要参数的符号及其含义

序号	名 称	符 号	含 义 说 明
1	集电极-基极间反向饱和电流	I_{cbo}	指发射极开路、集电结加反向电压时, 从集电极流向基极的电流
2	穿透电流	I_{ceo}	指基极开路、集电极与发射极间加上一定反向电压时, 流过集电极与发射极间的电流
3	共发射极电流放大系数	β	指在共发射极电路中, 集电极电流增量与基极电流增量的比值
4	α 截止频率	f_{α}	指共基极电路的电流放大系数 α 值下降为中频时电流放大系数的 0.707 倍时的频率
5	β 截止频率	f_{β}	指共发射极电路的电流放大系数 β 值下降到中频时电流放大系数的 0.707 倍时的频率
6	集电极-发射极间击穿电压	$U_{(BR)ceo}$	指基极开路时, 集电极-发射极间的反向击穿电压
7	最大集电极电流	I_{CM}	指集电极电流较大、 β 值下降到 β 额定值的 2/3 时, 对应的集电极电流
8	集电极最大功耗	P_{CM}	指集电结上允许消耗的最大功率。它等于集电极直流电流与集电极直流电压的乘积
9	集电结电容	C_c	指集电结势垒电容和扩散电容。当集电结处于反偏时, 势垒电容起主要作用
10	发射结电容	C_e	指发射结的势垒电容和扩散电容。当发射结为正偏时, 扩散电容起主要作用

4. 晶体管的简易测试方法 如表 JC8-5 所示。

表 JC8-5 晶体管的简易测试方法

序号	项 目		测 试 方 法
1	半导体二极管识别	锗管	将万用表拨到欧姆档 $R \times 100$ 或 $R \times 1000$ 位置, 测量二极管的极间电阻, 电表指示值在 $300 \sim 500 \Omega$ 时, 则为锗二极管; 且此时黑表笔所接管脚为正极, 红表笔所接管脚为负极
		硅管	方法同上, 只是电表指示值为 1000Ω 或更大些, 则为硅管; 且此时黑表笔所接管脚为正极, 红表笔所接管脚为负极
2	晶体管电极识别	基极 (PNP 型)	以万用表红表笔接假定的基极, 黑表笔分别与另外两个管脚相接。当两个阻值均小时, 则红表笔所接管脚为 PNP 型管的基极。若两个阻值为一大一小, 可将红表笔另接一管脚再试, 直到两个阻值均为较小时为止
		基极 (NPN 型)	方法同上, 只是所测两个阻值均较大, 则红表笔所接管脚为基极
		集电极 (PNP 型)	基极测出后, 用红黑表笔接其余两管脚。如测出阻值较小时, 则黑表笔所接管脚为发射极, 红表笔所接管脚为集电极
		集电极 (NPN 型)	方法同上, 只是这时测出的正、反向电阻值相差不大, 应用手指捏住假定的集电极和基极 (注意不要使两极短路), 如测出阻值较小时, 则黑表笔所接管脚为集电极
3	结型场效应管电极识别		用万用表欧姆档 $R \times 1000$ 位置, 测出管脚间的极间电阻。当测得具有二极管特性 (即两个管脚间阻值较大或较小) 时, 则其公共电极为栅极, 其余两脚可为源极、漏极 (它为双向器件两极可交换使用)

5. 晶体三极管的三种基本工作状态 如表 JC8-6 所示。

表 JC8-6 晶体三极管的三种基本工作状态

序号	工作状态	示意图	条 件	参数范围	特 点
1	截止区		发射结反偏、集电结反偏 ($U_{be} < 0, U_{bc} < 0$)	$U_{be} < 0.5V$ $I_b = 0$ $I_c = I_{co} \approx 0$ $U_{ce} \approx E_c$	在开关电路中, 晶体管在此时相当于开关断开
2	饱和区		发射结正偏、集电结正偏 ($U_{be} > 0, U_{bc} > 0$)	$U_{be} > 0.7V$ $U_{ce} < U_{be}$ $U_{ce} = U_{ces}$ { $< 0.4V$ (小功率硅管) $> 1V$ (大功率硅管) }	在开关电路中, 晶体管相当于开关接通

240

11

1

1

(续)

序号	工作状态	示意图	条件	参数范围	特点
3	放大区		发射结正偏、集电结反偏 ($U_{bc} > 0, U_{bc} < 0$)	$U_{bc} > 0.5V$ $I_b > 0$ $\Delta I_c = \beta \Delta I_b$ $U_{ce} = E_c - I_c R_c$	I_c 受 I_b 控制, 即具有电流放大作用, 用作放大器

(三) 晶体管放大电路

1. 晶体管放大电路的三种偏置方式 如表 JC8-7 所示。

表 JC8-7 晶体管放大电路的三种偏置方式

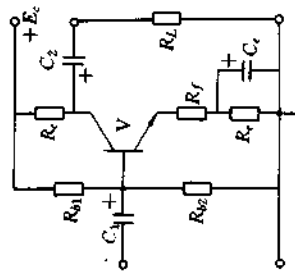
序号	类别	原理电路	特点	说明
1	固定偏置电路		①电路简单 ②损耗小 ③稳定性差	温度变化时, 将引起 I_{CQ} 变化, 电路不稳定
2	电压负反馈偏置电路		①结构简单 ②稳定性较好 ③失真小但放大倍数也减小	温度升高时, 将引起 I_c 增加, 使 $I_{CQ} R_c$ 积增加, I_{CQ} 减小, 导致 I_c 下降
3	电流负反馈偏置电路		①电路结构比较复杂 ②稳定性好 ③偏置电路要损耗一定功率 ④放大倍数不受 R_c 影响	温度变化时, 将引起 I_{CQ} 变化。由于基极电压不受温度影响, 故导致 R_c 上压降变化, 引起 U_{bcQ} 变化、 I_{CQ} 变化而 I_{CQ} 不变

2. 常用晶体管放大电路的计算公式 如表 JC8-8 所示。

表 JC8-8 常用晶体管放大电路的计算公式

序号	类别	电路图	静态工作点	输入电阻	输出电阻	电压放大倍数
1	固定偏置电路	见表 JC8-7 序号 1 原理电路	$I_{BQ} = \frac{E_c - U_{BEQ}}{R_b}$ $I_{CQ} = \beta I_{BQ}$ $U_{CEQ} = E_c - I_{CQ} R_c$	$R_i = R_b // r_{be}$ $r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26 \text{ mV}}{I_{BQ}}$	$R_o \approx R_c$	$A_u = -\frac{\beta(R_c // R_L)}{r_{be}}$
2	分压式 电流负 反馈偏 置电路	见表 JC8-7 序号 3 原理电路	$U_B \approx \frac{R_{B2} E_c}{R_{B1} + R_{B2}}$ $I_{BQ} \approx \frac{U_B - U_{BEQ}}{R_b}$ $I_{CQ} = \frac{I_{BQ}}{\beta}$ $U_{CEQ} = E_c - I_{CQ}(R_c + R_e)$	$R_i \approx R_{B1} // R_{B2} // r_{be}$	$R_o \approx R_c$	$A_u \approx -\frac{\beta(R_c // R_L)}{r_{be}}$
		具有 部分 旁路 电容 电阻	$U_B \approx \frac{R_{B2} E_c}{R_{B1} + R_{B2}}$ $I_{BQ} \approx \frac{U_B - U_{BEQ}}{R_b + R_f}$ $I_{CQ} = \frac{I_{BQ}}{\beta}$ $U_{CEQ} = E_c - I_{CQ}(R_c + R_e + R_f)$	$R_i \approx R_{B1} // R_{B2} // (r_{be} + \beta R_f)$	$R_o \approx R_c$	$A_u \approx -\frac{\beta(R_c // R_L)}{r_{be} + \beta R_f}$

电流负反馈偏置电路



(续)

序号	类别	电路图	静态工作点	输入电阻	输出电阻	电压放大倍数
3	射极输出器 (共集电极放大 电路)		$I_{BQ} = \frac{E_c - U_{BEQ}}{R_b + (1 + \beta)R_e}$ $I_{EQ} \approx (1 + \beta)I_{BQ}$ $U_{CEQ} = E_c - I_{EQ}R_e$	$R_i = R_b // [r_{be} + (1 + \beta)R_e // R_L]$	$R_o = R_e // \frac{r_{be} + R_b}{1 + \beta}$	$A_u = \frac{\beta(R_e // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)R_e // R_L}$
4	共基极放大 电路		$U_b = \frac{R_1 E_c}{R_1 + R_2}$ $I_{BQ} \approx \frac{U_b - U_{BEQ}}{R_e}$ $I_{EQ} = \frac{I_{BQ}}{1 + \beta}$ $U_{CEQ} = E_c - I_{EQ}(R_c + R_e)$	$R_i = R_e // \frac{r_{be}}{1 + \beta}$	$R_o \approx R_c$	$A_u = \frac{\beta(R_c // R_L)}{r_{be}}$

3. 三种基本放大电路的性能比较 如表 JC8-9 所示。

表 JC8-9 三种基本放大电路的性能比较

序号	项 目	共射电路	共基电路	共集电路
1	电流放大倍数 A_i	大	最小	大
2	电压放大倍数 A_u	大	大	最小
3	功率放大倍数 A_P	最大	中	最小
4	输入电阻 R_i	中	最小	最大
5	输出电阻 R_o	中	最大	最小
6	频率响应	差	好	较好
7	稳定性	差	较好	较好
8	输入和输出电流相位关系	同相	反相	反相
9	输入和输出电压相位关系	反相	同相	同相
10	用 途	中、低频放大	高频放大、振荡和恒流源电路	阻抗变换

4. 晶体管放大电路的基本分析方法 如表 JC8-10 所示。

表 JC8-10 晶体管放大电路的基本分析方法

序号	项目	图 解 法	微变等效电路法
1	步 骤	<p>①由放大器的直流通路在其晶体管的输出特性曲线上作出输出回路的直流负载线</p> <p>②根据估算法求出电路静态时的基极电流 I_{BQ} 值与直流负载线的交点即为静态工作点, 从而找出对应的 I_{CQ}、U_{CEQ} 值</p> <p>③由该电路的交流通道算出等效的交流负载电阻 R_L' ($= R_c // R_L$)。在输出特性曲线上通过静态工作点, 作斜率为 $-1/R_L'$ 的交流负载线</p> <p>④在输入特性曲线上的静态工作点附近取一个基极电流的变化量 ΔI_b 值, 查出相应的基极电压的变化量 ΔU_b, 再到输出特性曲线上查出与之对应的输出电压变化量 ΔU_c 值</p> <p>⑤由 $\Delta U_c / \Delta U_b$ 值算出放大电路的电压放大倍数 A_u</p>	<p>①用估算法求出静态工作点</p> <p>②画出晶体管简化的等效电路</p> <p>a. 从输入特性曲线确定等效的输入电阻, 即晶体管输入端可用一个等效输入电阻 r_{be} 代替</p> <p>b. 由输出特性曲线确定等效的输出回路, 即晶体管的输出端可用一个恒流源 $\beta \Delta I_b$ 代替</p> <p>③画出放大电路其余部分的交流通道</p> <p>④根据整个放大电路的等效电路列出电路方程, 并求解其交流参数: 输入电阻 R_i, 输出电阻 R_o 和电压放大倍数 A_u</p>
2	优 点	<p>①形象、直观、既可分析电路的静态, 也能分析电路的动态</p> <p>②能看出静态工作点设置是否合适, 电路参数对静态工作点的影响, 并形象地观察到波形的非线性失真情况</p>	<p>①分析过程简单方便</p> <p>②适于分析任何简单和复杂的电路</p>
3	缺 点	<p>①作图过程繁琐, 且有误差</p> <p>②对复杂电路作图困难</p>	<p>①只能分析放大电路的动态, 不能分析直流工作状态</p> <p>②不直观, 无法分析放大电路的非线性失真情况</p>
4	适 用 范 围	<p>当输入信号电压幅度较大或分析波形失真时, 采用图解法比较合适</p>	<p>只能用来计算低频小信号的电压、电流值, 或大信号, 但非线性程度不严重, 对计算精度要求不高时, 仍可用此法分析</p>

5. 晶体管放大电路的耦合方式 如表 JC8-11 所示。

表 JC8-11 晶体管放大电路的耦合方式

序号	类别	优点	问题	适用范围
1	阻容耦合	①各级静态工作点独立互不影响, 计算和调试方便 ②电路结构简单 ③电路性能比较稳定	①不能反映直流信号的变化, 故不适合放大直流信号或变化缓慢的信号 ②由于它需用大电容来实现信号的耦合, 故不宜于集成化	一般用于分立元件的多级放大
2	直接耦合	①能放大缓慢变化的信号或直流信号 ②电路所需元件少 ③频率特性好 ④便于集成化	①由于级间直流通路是相通的, 故各级静态工作点相互有影响 ②各级静态工作点不能单独计算, 使电路的设计和调试较复杂 ③存在零点漂移现象, 使放大器性能不稳定	用于集成化的, 高增益直接的, 耦合放大
3	变压器耦合	①利用阻抗变换可获得最大功率输出 ②各级静态工作点互不影响	①变压器体积、重量大, 既消耗有色金属, 频率特性也差 ②变压器不能反映直流成分的变化, 故不能放大缓慢变化的信号 ③不能实现集成化	多用于低频功率放大和中频调谐放大

6. 工业自动控制系统中常用的多级放大电路 如表 JC8-12 所示。

表 JC8-12 工业自动控制系统中常用的多级放大电路

序号	项目	共射电路-共射电路	共射电路-共集电路	共集电路-共射电路
1	电路图			
2	静态分析	计算各级的静态工作点(见表 JC8-8)	计算各级的静态工作点(见表 JC8-8)	计算各级的静态工作点(见表 JC8-8)

序号	项目	共射电路-共射电路	共射电路-共集电路	共集电路-共射电路
	(续)	<p>①求 r_{be1} 和 r_{be2} (见表 JC8-8)</p> <p>②画微变等效电路, 如图所示</p> <p>③求电压增益</p> <p>a. 将第二级输入电阻当作第一级的负载求 A_{u1}</p> $R_{i2} = R_{b3} // R_{b4} // r_{be2}$ $R_{L1} = R_c // R_{i2}$ $A_{u1} = \frac{\beta_1 R_{L1}}{r_{be1} + (1 + \beta_1) R_{L1}}$ <p>b. 第二级增益</p> $A_{u2} = -\frac{\beta_2 R_{L2}}{r_{be2}}$ $R_{L2} = R_c // R_L$ <p>c. 总的电压增益</p> $A_u = A_{u1} A_{u2} = \frac{-\beta_1 \beta_2 R_{L1} R_{L2}}{r_{be1} + (1 + \beta_1) R_{L1}} r_{be2}$ <p>④输入电阻</p> $R_i = R_{b1} // R_{b2} // [r_{be1} + \beta_1 (R_c // R_{i2} // r_{be2})]$ <p>⑤输出电阻</p> $R_o = R_{c2} = R_c$	<p>①求 r_{be1} 和 r_{be2} (见表 JC8-8)</p> <p>②画微变等效电路, 如图所示</p> <p>③求电压增益</p> <p>a. 将第二级输入电阻当作第一级的负载求 A_{u1}</p> $R_{i2} = R_{b3} // [r_{be2} + (1 + \beta_2) R_L]$ $R_{L1} = R_c // R_{i2}$ $R_{L2} = R_c // R_{i2}$ $A_{u1} = -\frac{\beta_1 R_{L1}}{r_{be1}}$ <p>b. 第二级增益</p> $A_{u2} = \frac{(1 + \beta_2) R_{L2}}{r_{be2} + (1 + \beta_2) R_{L2}}$ $R_{L2} = R_c // R_L$ <p>c. 总的电压增益</p> $A_u = A_{u1} A_{u2} = \frac{-\beta_1 \beta_2 R_{L1} R_{L2}}{r_{be1} (r_{be2} + \beta_2 R_{L2})}$ <p>④输入电阻</p> $R_i = R_{b1} // R_{b2} // r_{be1}$ <p>⑤输出电阻</p> $R_o = R_c // \frac{(R_{be2} // R_{L1}) + r_{be2}}{1 + \beta_2}$	<p>①求 r_{be1} 和 r_{be2} (见表 JC8-8)</p> <p>②画微变等效电路, 如图所示</p> <p>③求电压增益</p> <p>a. 将第二级输入电阻当作第一级的负载求 A_{u1}</p> $R_{i2} = R_{b3} // R_{b4} // r_{be2}$ $R_{L1} = R_{c1} // R_{i2}$ $A_{u1} = -\frac{\beta_1 R_{L1}}{r_{be1}}$ <p>b. 第二级增益</p> $A_{u2} = -\frac{\beta_2 R_{L2}}{r_{be2}}$ $R_{L2} = R_{c2} // R_L$ <p>c. 总的电压增益</p> $A_u = A_{u1} A_{u2} = \frac{\beta_1 \beta_2 R_{L1} R_{L2}}{r_{be1} r_{be2}}$ <p>④输入电阻</p> $R_i = R_{b1} // R_{b2} // R_{i2} // r_{be1}$ <p>⑤输出电阻</p> $R_o = R_{c2} = R_{c2}$
	动态分析			

7. 四种差动放大电路的比较 如表 JC8-13 所示。

表 JC8-13 四种差动放大电路的比较

序号	项 目	说 明	
1	原理电路图		
2	输入方式	双 端 输 入	
3	输出方式	双 端	单 端
4	差模电压放大倍数 A_d	$A_d = \frac{U_o}{U_i} = -\frac{\beta R_c}{R_i + r_{be}}$	$A_d = \frac{U_{o1}}{U_i} = \frac{-U_{o2}}{U_i}$ $= \frac{-\beta R_c}{2(R_i + r_{be})}$
5	共模电压放大倍数 A_c	$A_c \rightarrow 0$	很 小
6	共模抑制比 K_{CMR}	很 高	较 高
7	输出电阻 R_o	$R_o \approx 2R_c$	$R_o \approx R_c$
8	差模输入电阻 R_{id}	$R_{id} = 2(R_i + r_{be})$	$R_{id} = 2(R_i + r_{be})$
9	特 点	①放大倍数与单管放大倍数相同 ②若电路完全对称, $K_{CMR} = \infty$	①放大倍数等于单管放大倍数的一半 ②靠引入共模负反馈, 电路仍有较高的共模抑制比
10	适用 范 围	①适用于对称输入、对称输出, 输入输出都不接地的场合 ②作输入和中间级	①将单端输入转换为双端输出, 作为下一级的差动输入 ②适用于输入和输出需要公共接地端的场合

8. 几种常用功率放大电路的分析 如表 JC8-14 所示。

表 JC8-14 几种常用功率放大电路的分析

序号	电路形式	三极管工作状态	最大输出不失真功率	特点
1	<p>OTL 互补对称电路</p>	甲乙类	$P_o = \frac{(E_c/2 - U_{ce})^2}{2R_L}$	<ul style="list-style-type: none"> ① 无交越失真 ② 大功率输出时, V_1、V_2 配对难, 故不合作大功率输出 ③ 对推动级电流要求大
2	<p>OCL 互补对称电路</p>	甲乙类	$P_o = \frac{(E_c - U_{ce})^2}{2R_L}$	<ul style="list-style-type: none"> ① 省去耦合用大电容, 便于整个电路集成化和改善电路低频响应 ② 除有 OTL 互补对称级的缺点外, 还需双电源
3	<p>集成功率放大器</p>	甲乙类	$P_o = \frac{U_{opp}^2}{8R_L}$ <p>峰-峰值电压 $U_{opp}=16V$ 时 $P_o=4W$</p>	<p>集成功率放大器具有外接元件少、电路简单, 许多地方已经取代了由分立元件组成的 OTL 和 OCL 电路</p>

(续)

序号	电路形式	三极管工作状态	最大输出不失真功率	特点
4	<p>OCL 准互补对称电路</p>	甲乙类	$P_o = \frac{(E_c - U_{ces})^2}{2R_L}$	<p>①除具有 OCL 互补对称电路优点外, 还具有 OTL 准互补电路的优点</p> <p>②不足处是多一组电源</p>
5	<p>OTL 准互补对称电路 (电路图与本表序号 4 电路相同, 只是要在输出端 A 与 R_L 间多串联一个耦合电容 C, 无 $-E_c$ 且 $-E_c$ 处接地)</p>	甲乙类	$P_o = \frac{\left(\frac{E_c}{2} - U_{ces}\right)^2}{2R_L}$	<p>①无交越失真</p> <p>②无 OTL 互补对称电路特点中的缺点 (参看本表序号 1 “特点” 栏的 ②、③)</p>

9. 放大器中反馈类型的判别方法 如表 JC8-15 所示。

表 JC8-15 放大器中反馈类型的判别方法

序号	类别	经验法	定义法
1	电压反馈	反馈量取自信号输出端的称为“电压反馈”	反馈量取自输出节点电压, 与输出电压成正比的称为“电压反馈”
2	电流反馈	反馈量取自非信号输出端的称为“电流反馈”	反馈量取自输出回路电流, 与输出电流成正比的称为“电流反馈”
3	串联反馈	反馈信号加到非信号输入端的称为“串联反馈”	反馈信号与输入信号在输入回路中, 以电压形式相加减的称为“串联反馈”
4	并联反馈	反馈信号加到信号输入端的称为“并联反馈”	反馈信号与输入信号在输入回路中, 以电流形式相加减的称为“并联反馈”
5	正反馈	反馈信号加到非信号输入端时, 其极性与输入信号相反称为“正反馈” 若反馈信号加到信号输入端时, 其极性与输入信号相同则称为“正反馈”	若反馈信号增强了外加输入信号的作用, 使电路放大倍数提高的称为“正反馈”
6	负反馈	反馈信号加到非信号输入端时, 其极性与输入信号相同称为“负反馈”。若反馈信号加到信号输入端时, 其极性与输入信号相反则称为“负反馈”	反馈信号削弱了输入信号作用, 使电路的放大倍数降低的称为“负反馈”

10. 放大器中负反馈的类型及其作用 如表 JC8-16 所示。

表 JC8-16 放大器中负反馈的类型及其作用

序号	项 目	按输出端取样对象		按输入端连接方式	
		电压负反馈	电流负反馈	串联负反馈	并联负反馈
1	稳定的输出量	稳定输出电压	稳定输出电流		
2	对输入电阻的影响			提高	降低
3	对输出电阻的影响	减小	增加		
4	对信号源要求			R_s 要小	R_s 要大

(四) 集成运算放大器

1. 几种基本集成运算放大器的性能 如表 JC8-17 所示。

表 JC8-17 几种基本集成运算放大器的性能

序号	类别	电 路 图	电压放大倍数	输入电阻	输出电阻
1	反相输入	<p>$(R' = R_1 // R_f)$</p>	$A_f = -\frac{R_f}{R_1}$	$R_{if} = R_1$	$R_{of} = \frac{R_o}{1 + A_u F}$
2	同相输入	<p>$(R' = R_1 // R_f)$</p>	$A_f = 1 + \frac{R_f}{R_1}$	$R_{if} = (1 + A_u F) r_{id}$	$R_{of} = \frac{R_o}{1 + A_u F}$
3	差动输入	<p>$(R'_1 = R_1, R'_f = R_f)$</p>	$A_f = -\frac{U_o}{U_i - U_i} = -\frac{R_f}{R_1}$	$R_{if} = 2R_1$	$R_{of} = \frac{R_o}{1 + A_u F}$

2. 同相输入和反相输入运算放大器的比较 如表 JC8-18 所示。

表 JC8-18 同相输入和反相输入运算放大器的比较

序号	项 目	反相输入电路	同相输入电路
1	U_i 与 U_o 相位关系	反 相	同 相
2	输入信号接法	接到反相输入端 Σ	接到同相输入端 Σ'
3	反馈信号接法	接到反相输入端 Σ	接到反相输入端 Σ
4	反馈类型	电压并联负反馈	电压串联负反馈
5	运放工作状态	线 性 区	线 性 区
6	特 点	虚 地	虚 短
7	输入电阻	不 高	高
8	输出电阻	低	低
9	电压放大倍数	$|A_v|$ 可大于、等于或小于 1	恒大于或等于 1
10	共模输入电压	低 (≈ 0)	高 ($\approx U_i$)

3. 微分、积分、对数和反对数运算电路的性能 如表 JC8-19 所示。

表 JC8-19 微分、积分、对数和反对数运算的比较

序号	类 别	电 路 图	输入、输出关系	波 形 图
1	微分电路		$U_o = -RC \frac{dU_i}{dt}$	
2	积分电路		$U_o = -\frac{1}{RC} \int U_i dt$	
3	对数运算电路		$U_o = -V_T \left(\ln \frac{U_i}{R} - \ln I_s \right)$ 式中, V_T 为温度的电压当量	
4	反对数运算电路		$U_o = -RI_s \ln^{-1} \left(\frac{U_i}{R} \right)$	

4. 集成运放在信号处理方面的应用 如表 JC8-20 所示。

表 JC8-20 集成运放在信号处理方面的应用

序号	类别	电路图	波形图	运放工作状态
1	同相型基本采样保持电路			线性区
2	过零比较器			非线性区
3	具有滞回特性的比较电路			非线性区
4	双限比较电路			非线性区

5. 集成运放在波形产生方面的应用 如表 JC8-21 所示。

表 JC8-21 集成运放在波形产生方面的应用

序号	类别	电路图	波形图	基本公式
1	施密特触发器			$U_{\Sigma 1} = \frac{R_1 U_R + R_2 U_+}{R_1 + R_2}$ $U_{\Sigma 2} = \frac{R_1 U_R + R_2 U_-}{R_1 + R_2}$

(续)

序号	类别	电路图	波形图	基本公式
2	矩形波振荡电路			$U_{\Sigma 1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_2$ $U_{\Sigma 2} = -\frac{R_1 U_2}{R_1 + R_2}$
3	锯齿波电压发生器			$U_{\Sigma 1} = \frac{R_1 U_2}{R_2}$ $U_{\Sigma 2} = -\frac{R_1 U_2}{R_2}$ $T = \frac{2R_1 R_6 (R_6 + 2R_5) C}{R_2 (R_5 + R_6)}$

(五) 振荡电路和直流电源

1. 几种常用振荡电路的性能 如表 JC8-22 所示。

表 JC8-22 几种常用振荡电路的性能

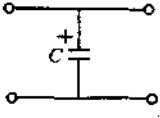
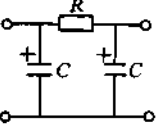
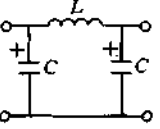
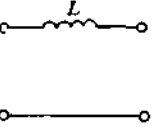
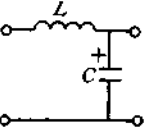
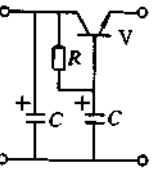
序号	类别	电路图	振荡频率	起振条件	电路特点
1	RC 串并联网络振荡器		$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$	$|A_2| > 3$	频率调节方便且连续, 便于加稳幅电路, 故输出波形好, 适于几赫至几百千赫的振荡
2	RC 移相振荡器		$f_0 \approx \frac{1}{2\pi \sqrt{6} RC}$	$\beta > 29$	电路结构简单, 但输出波形差且频率调节不便, 只适于几赫至几百千赫的单一频率设备

(续)

序号	类别	电路图	振荡频率	起振条件	电路特点
3	双 T 选频网络振荡器		$f_0 \approx \frac{1}{5RC}$	$R' < \frac{R}{2}$ $|\dot{A}_v \dot{F}| > 1$	选频特性好, 频率调节较难, 适于几赫至几百千赫的单一频率振荡
4	电容三点式电路		$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}}$	$\beta > \frac{C_2 r_{be}}{C_1 R'}$ R' 为折合到谐振回路中的等效总损耗电阻	振荡频率可调但范围窄, 输出波形好, 频率稳定度可达 $10^{-4} \sim 10^{-5}$, 适用频率较高为几兆赫至 100MHz 以上
5	电感三点式电路		$f_0 \approx \frac{1}{2\pi \sqrt{(L_1 + L_2 + 2M) C}}$	$\beta > \frac{L_1 + M r_{be}}{L_2 + M R'}$	输出频率可调且宽, 适用频率为几兆赫至 100MHz 以上, 输出波形差, 频率稳定度可达 10^{-4}
6	变压器反馈式电路		$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$	$\beta > \frac{CR r_{be}}{M}$	频率可调且范围较宽, 输出波形一般, 频率稳定度为 10^{-4} , 适用频率为几千赫至几十兆赫

2. 几种常用滤波电路的性能 如表 JC8-23 所示。

表 JC8-23 几种常用滤波电路的性能

序号	类别	电路图	整流管冲击电流	外特性	适用范围	优缺点
1	电容滤波		大	软	小电流	电路简单, 小电流时波形脉动小, 但负载能力差
2	RC- π 型滤波		大	软	小电流	波形脉动较单个电容滤波小, 但电阻上有直流压降
3	LC- π 型滤波		大	软	小电流	波形脉动进一步减小且L上无直流压降, 但电感器笨重、成本高
4	电感滤波		小	硬	大电流	整流管中电流较平稳, 但输出电压较低且电感器笨重成本也高
5	LC滤波		小	硬	适应性强	对大、小电流负载都能适应, 也具有电感滤波的缺点
6	有源滤波		大	硬	小电流	性能与RC- π 型滤波相同, 但可用大电阻和小电容, 既无过大的直流压降损失, 又避免电容体积大的缺点

3. 几种常用整流电路的性能 如表 JC8-24 所示。

表 JC8-24 几种常用整流电路的性能

序号	类别	电 路 图	输出电压波形	输出直流电压 U_d (空载)	输出直流电压 (负载)估算值	每管平均电 流 i_d	每管反向 峰值电压	优缺点
1	单相 半波 整流 电容 滤波			$\sqrt{2} U_2$	U_2	i_o	$2\sqrt{2} U_2$	电路结构 简单,输出 电压低且波 形脉动大, 变压器利用 率低
2	单相 全波 整流 电容 滤波			$\sqrt{2} U_2$	$1.2U_2$	$\frac{1}{2} i_o$	$2\sqrt{2} U_2$	输出波形 脉动小,输 出直流电压 高,但变压 器有中心抽 头,制造麻 烦
3	单相 桥式 整流 电容 滤波		与本表序号 2 电路输出电压波形相似	$\sqrt{2} U_2$	$1.2U_2$	$\frac{1}{2} i_o$	$\sqrt{2} U_2$	输出直流 电压与全波 相同,但二 极管承受的 反峰电压 小,电流仅 为 $\frac{1}{2} i_o$,且 输出波形脉 动也小,缺 点是二极管 用得较多

(续)								
序号	类别	电 路 图	输出电压波形	输出直流电压 U_o (空载)	输出直流电压 (带负载) 估算值	每管平均电 流 i_D	每管反向 峰值电压	优 缺 点
4	单相 桥式 整流 电感 滤波			$0.9U_2$	$0.9U_2$	$\frac{1}{2}i_o$	$\sqrt{2}U_2$	输出直流电压低, 二极管承受反峰电压和流过的电流都小。输出波形脉动小, 外特性较硬, 唯电感大成本高, 产生感应电压高易击穿管子
5	全波 二倍 压整 流			$2\sqrt{2}U_2$	$2 \times 1.2U_2$	i_o	$\sqrt{2}U_2$	输出电压幅度高, 但带负载能力差, 故只适合要求输出电压高、负载电流较小的场合

4. 几种单相整流电路带纯电阻负载时的性能比较 如表 JC8-25 所示。

表 JC8-25 几种单相整流电路带纯电阻负载时的性能比较

序号	项 目	半波整流	全波整流	桥式整流
1	输出直流电压 变压器二次电压	0.45	0.9	0.9
2	二极管平均电流 输出电流平均值	1	0.5	0.5
3	脉动系数	1.57	0.67	0.67
4	二极管最大反峰电压 变压器二次电压有效值	1.41	2.83	1.41
5	优缺点	电路简单经济, 但输出直流电压低且波形脉动大, 变压器利用率也不高	输出直流电压为半波电路的两倍, 且波形脉动也小, 但二极管承受的反向电压大, 变压器有中心抽头, 制造较麻烦	输出直流电压与全波整流相同, 但二极管承受的反向电压仅为全波整流的一半, 变压器二次绕组在整个周期内都有电流通过, 提高了变压器的利用率, 但所用整流二极管比全波整流电路多了一倍

5. 几种常用稳压电路的原理和性能 如表 JC8-26 所示。

表 JC8-26 几种常用稳压电路的原理和性能

序号	类别	电 路 图	稳 压 原 理	性 能
1	硅稳压管稳压电路		<p>①电源电压不变 R_L 变化时:</p> $R_L \downarrow \rightarrow I_L \uparrow \rightarrow \bar{U}_o \downarrow \rightarrow I_V \downarrow$ $\rightarrow I_R \downarrow \rightarrow \bar{U}_o \uparrow$ <p>②负载不变而电源电压变化时:</p> $\bar{U}_i \uparrow \rightarrow \bar{U}_o \uparrow \rightarrow I_V \uparrow \rightarrow I_R \uparrow$ $\rightarrow U_R \uparrow \rightarrow \bar{U}_o \downarrow$	<p>输出电压由稳压管型号决定且不可调, 电源电压或负载电流大范围变化时电路不能适应。它只能用于固定负载或电流变化较小的输出电压无需调节的地方</p>
2	串联型稳压电源		$\bar{U}_i \uparrow \rightarrow \bar{U}_o \uparrow \rightarrow U_F \uparrow \rightarrow U_o \downarrow$ $\rightarrow U_{ce} \uparrow \rightarrow \bar{U}_o \downarrow$	<p>稳压性能好, 输出电压连续可调, 带负载能力强, 是一种常用稳压电源。但调整管(指稳压电路内部的晶体管)工作在放大区功耗大效率低(约 40%~60%)</p>

(续)

序号	类别	电 路 图	稳 压 原 理	性 能
3	三端点固定输出集成稳压器		<p>与串联型稳压电源的稳压原理相同(因其内部组成与串联型稳压电源相似且更加完善)</p>	<p>与分立元件组成的稳压电源比较具有体积小、温度特性好、使用灵活,如可组成正、负电压同时输出或外加大功率管还可以扩大大电流输出。再加上稳压性能好,外部电路简单,安装调试方便,安全可靠,价格低廉,故成为集成稳压器的主流产品</p>
4	开关型稳压电源		<p>输出电压稳定时, U_F (取样电压) $= U_{REF}$ (基准电压), 误差放大器输出电压为零, 比较器 A1 输出脉冲电压 U_b 的占空比为 50%, 即调整管导通、截止时间相同, 维持稳定输出</p> <p>当输出电压 U_o 不稳定时, 电路稳压过程用流程图表示如下:</p> <pre> Uo ↑ → UF ↑ → UA ↓ → Ub ↓ Uo ↓ → V1截止 或 Uo ↓ → UF ↓ → UA ↑ → Ub ↑ Uo ↑ → V1导通 </pre>	<p>与连续控制的半导体稳压电源相比, 它的自身功耗小 (效率约 80%~90%), 体积小、重量轻。缺点是稳定性差, 输出电压纹波大, 电路复杂。适合在大电流、大功率和输出电压稳定性要求不太高的固定负载、固定输出电压的场合</p>

(六) 数字电路

1. 数字电路的数制 数字电路中一般不直接采用“十进制”。最常用的为“二进制”, 也有时采用“八进制”或“十六进制”, 以简化二进制数的表达。表 JC8-27 列出了上述几种数制的对照。

表 JC8-27 几种数制的对照

十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数
0	0 0 0 0 0	0	0
1	0 0 0 0 1	1	1
2	0 0 0 1 0	2	2
3	0 0 0 1 1	3	3
4	0 0 1 0 0	4	4
5	0 0 1 0 1	5	5
6	0 0 1 1 0	6	6
7	0 0 1 1 1	7	7
8	0 1 0 0 0	10	8

(续)

十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数
9	0 1 0 0 1	11	9
10	0 1 0 1 0	12	A
11	0 1 0 1 1	13	B
12	0 1 1 0 0	14	C
13	0 1 1 0 1	15	D
14	0 1 1 1 0	16	E
15	0 1 1 1 1	17	F
16	1 0 0 0 0	20	10
17	1 0 0 0 1	21	11
18	1 0 0 1 0	22	12
19	1 0 0 1 1	23	13
20	1 0 1 0 0	24	14

2. 三种基本逻辑门电路 如表 JC8-28 所示。

表 JC8-28 三种基本逻辑门电路

序号	项 目	与 门	或 门	非 门
1	电 路			
2	逻辑符号			
3	函数式	$Y = AB$	$Y = A + B$	$Y = \bar{A}$
4	输入 (AB)	输 出 Y		
	0 0	0	0	1
	0 1	0	1	1
	1 0	0	1	0
1 1	1	1	0	

3. 几种常见分立元件门电路与集成单元门电路性能比较 如表 JC8-29 所示。

表 JC8-29 几种常见分立元件门电路与集成单元门电路性能比较

序号	名称	逻辑符号	函数式	类别	门电路图	输入, AB	输出 Y	优缺点
1				分立元件		<p>1 1</p> <p>0 1</p> <p>1 0</p> <p>0 0</p>	0 1 0 1	<p>电路结构简单, 没有二极管电路电平偏移的缺点, 带负载能力和工作速度以及可靠性等方面都优于二极管门电路</p>
2	与非门		$Y = \overline{A \cdot B}$	<p>TTL</p> <p>集成电路</p>		<p>1 1</p> <p>0 1</p> <p>1 0</p> <p>0 0</p>	0 1 0 1	<p>与分立元件门电路比, 具有体积小、重量轻和工作稳定可靠、工作速度快、带负载能力强等优点, 但制造工艺比较复杂</p>
3				CMOS		<p>0 0</p> <p>0 0</p>	1 1	<p>与 TTL 电路比, 具有功耗小、集成度高和制造工艺简单、工艺流程少、输入阻抗高等优点, 缺点是工作速度低</p>

序号	名称	逻辑符号	函数式	类别	门 电 路 图	输入 AB	输出 Y	优 缺 点
4				分立元件		1 1 0 1 1 0 0 0	0 0 0 1	与本表分立元件组成的与非门性能相同
5	或非门		$Y = \overline{A+B}$	集成电路		1 1 0 1 1 0 0 0	0 0 0 1	与本表介绍的 TTL 与非门性能相同
6				CMOS		1 1 0 1 1 0 0 0	0 0 0 1	与本表介绍的 CMOS 与非门性能相同

— — — — —

— — — — —

4. 逻辑代数 (布尔代数) 的基本定律和公式 如表 JC8-30 所示。

表 JC8-30 逻辑代数 (布尔代数) 的基本定律和公式

序号	项 目	公 式	
1	常量关系式	$0 \cdot 0 = 0$	$0 + 0 = 0$
		$0 \cdot 1 = 0$	$0 + 1 = 1$
		$1 \cdot 1 = 1$	$1 + 1 = 1$
		$\bar{0} = 1$	$\bar{1} = 0$
2	常量与变量关系式	$A \cdot 1 = A$ $A + 0 = A$	$A + 1 = 1$ $A + 0 = A$
基 本 定 律	互 补 律	$A \cdot \bar{A} = 0$	$A + \bar{A} = 1$
	同 一 律	$A \cdot A = A$	$A + A = A$
	交 换 律	$A + B = B + A$	$A \cdot B = B \cdot A$
	分 配 律	$A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$	$A + B \cdot C = (A + B) \cdot (A + C)$
	结 合 律	$(A \cdot B) \cdot C = A \cdot (B \cdot C)$	$(A + B) + C = A + (B + C)$
	还 原 律	$\bar{\bar{A}} = A$	
	吸 收 律	$(A + B) \cdot (A + \bar{B}) = A$	$A \cdot B + A \cdot \bar{B} = A$
		$A \cdot (A + B) = A$	$A + AB = A$
$A \cdot (\bar{A} + B) = A \cdot B$		$A + \bar{A}B = A + B$	
$(A + B) \cdot (\bar{A} + C) \cdot (B + C) = (A + B) \cdot (\bar{A} + C)$		$AB + \bar{A}C + BC = AB + \bar{A}C$	
10	反 转 律	$\overline{A \bar{B} + \bar{A} B} = AB + \bar{A} \bar{B}$ $\overline{AB + \bar{A} C} = A \bar{B} + \bar{A} \cdot \bar{C}$	
11	德·摩根定律	$\overline{A \cdot B} = \bar{A} + \bar{B}$	$\overline{A + B} = \bar{A} \cdot \bar{B}$

5. 几种常见触发器的性能 如表 JC8-31 所示。

表 JC8-31 几种常见触发器的性能

序号	项 目	基本 RS 触发器	同步 RS 触发器	主从 RS 触发器	集成单元维持阻塞 D 触发器
1	逻辑图				

(续)

序号	项目	基本 RS 触发器	同步 RS 触发器	主从 RS 触发器	集成单元维持阻塞 D 触发器
2	逻辑符号				
3	特性方程	$Q^{n+1} = S + \bar{R}Q^n$ $RS = 0$ 约束条件	$Q^{n+1} = S + \bar{R}Q^n$ $RS = 0$	$Q^{n+1} = S + \bar{R}Q^n$ $RS = 0$	$Q^{n+1} = D$
4	优缺点	电路结构简单,是构成各种多功能触发器的基本组成部分,它的缺点是触发器状态受输入信号控制,R、S之间有约束	具有选通控制,CP=1时触发器接收输入信号,CP=0时触发器被禁止,即触发翻转与选通脉冲同步。缺点与基本RS触发器相同并有空翻	具有CP上升沿接收、下降沿翻转、主从控制解决了直接控制问题和无空翻等优点。当CP=1时RS间仍存在约束	具有CP上升沿触发和翻转的特点,无空翻,CP=1期间有维持阻塞作用。不足的是某些时候使用起来不如JK触发器
5	用途	它有两个稳态具有记忆功能可作寄存器	作寄存器,简单的控制线路	可用作寄存器、移位寄存器和计算器	可作寄存器、移位寄存器和计算器

6. 脉冲的产生与整形电路 如表 JC8-32 所示。

表 JC8-32 脉冲的产生与整形电路

序号	类别	电路图	稳定状态	转换情况	适用范围
1	多谐振荡器		两个暂稳态	在没有外来输入信号情况下,能因延时环节的控制作用产生周期性振荡	产生方波,可用作脉冲信号发生器
2	单稳态触发器		一个稳态和一个暂稳态	在外来触发信号作用下,电路进入暂稳态。通过电路本身电容的充放电作用,能自动回到稳态	整形、定时和延时
3	施密特触发器		两个稳态	靠具有一定电平的触发信号才能使电路翻转,且决定新的稳态的存在	常用于脉冲波形的整形、定时和延时、鉴幅

主要参考文献

- 1 清华大学电子学教研组编. 数字电子技术基础简明教程. 北京: 高等教育出版社, 1985
- 2 浙江大学高维宏主编. 电路和电子技术. 北京: 高等教育出版社, 1989
- 3 康华光主编. 电子技术基础. 北京: 高等教育出版社, 1988
- 4 宋金华, 彭利标编. 电子产品与工艺. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1989
- 5 机械工程手册, 电机工程手册编委会编. 电气工程师手册. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 6 贺天枢, 赵叔玉主编译. IEC 电工电子标准术语词典. 北京: 中国标准出版社, 1992

九、计算机基础 (JC9)

(一) 常用的计算机名词术语

计算机中常用的名词术语，如表 JC9-1 所示。

表 JC9-1 常用的计算机名词术语

序号	名 词 术 语	含 义 说 明
1	计算机 computer	即电子计算机，指能用电子学方法存储输入信息，并由电子电路按照程序对信息进行处理和输出的设备。计算机通常由输入设备、输出设备、存储器、运算和逻辑部件以及控制器等五部分组成 现在所讲的计算机，主要指数字计算机
2	模拟计算机 analogue computer	指直接对模拟形式的变量进行数学运算并以模拟信号形式给出结果的一种计算机。模拟计算机的主要部件是运算放大器，它用来执行加、减、乘、除和积分等数学运算。对适于用其求解的问题在模拟计算机上编程较容易，解题速度快。然而由于数字技术的高速发展使得模拟计算机除在一些专用领域外，现已很少使用
3	数字计算机 digital-computer	指通过对表示成数字式的数据进行算术的和逻辑的运算来进行数据处理的计算机。典型的数字计算机是存储程序的电子计算机，这种计算机能存储指令，加以执行并根据计算机的结果对指令加以修改。数字计算机的特点是计算速度快，精度高，便于信息存储
4	微型计算机 micro-computer	指由微处理器、存储器（如只读存储器 ROM、随机存储器 RAM）和输入输出接口组成的计算机，简称“微机”。微型计算机是一个独立的子系统，通常由大规模集成电路组成。它们装在一个插板上的称为“单板机”。做在一个芯片上的称为“单片机”。微型计算机具有体积小、功耗低等特点
5	微处理器 micro processing unit (MPU)	是微型计算机的核心部分。不同的计算机其结构有所不同。它通常包括运算器、控制器、寄存器等部门
6	硬件 hardware	计算机系统物理装置的总称，与“软件”（参看序号 31）相对。它可以是电子的、电的、磁的、机械的、光的元件或装置。仅有“硬件”的计算机称为“裸机”
7	中央处理器 central processing unit (CPU)	又称“中央处理机”，是计算机的核心部分。它包括指令的解释和执行线路及执行指令所必需的运算、逻辑和控制线路。中央处理器包括计算机系统的两个基本部件，即运算器和控制器
8	运算器 arithmetic and logical unit (ALU)	指能完成算术运算和逻辑运算的装置。通常由下列部件组成：累加器、存放操作数和结果的寄存器，为实现乘法、除法及其它操作而增加的移位线路

(续)

序号	名词术语	含义说明
9	控制器 control unit (CU)	数字计算机的一个部分。它规定执行指令的顺序,解释指令的操作码和地址码,并根据指令译码将适当的控制信号送到运算器和计算机的其它部分
10	寄存器 register	指用作保存定长数据的存储装置。一般由触发器组成。用于暂存数据,以利于算术、逻辑和专用传送操作。微型计算机中典型的寄存器包括累加器、变址寄存器、指令计数器、堆栈指示器和一些通用寄存器。这些寄存器形成了CPU的一部分。寄存器数目的多少是微处理器功能强弱的一个主要判据
11	累加器 accumulator (AC)	指在运算器中,可存放参予算术逻辑运算的数据及运算结果的寄存器。它是运算器的主要部件,在微处理器中,累加器还可实现移位、循环等操作,是使用最频繁的寄存器
12	加法器 adder	根据两个或多个输入值而产生其和数的器件或装置。一般没有数据保持功能,即只要有输入信号,输出就是其和数
13	总线 bus	指各种信号线的集合。是组成系统的插条间或各种芯片间或微型计算机系统间的标准信息通路。按性质可分为数据线、地址线、控制线、时序信号线、中断信号线、电源线以及备用线等。微机总线又可分为:①芯片内总线,又称元件级总线;②内总线,又称系统总线,即微机系统各插件板间的总线;③外总线,又称通信总线,即微机系统与其它系统(如仪器、测量和控制系统)之间的通信总线
14	指令 instruction	指计算机的操作及操作数或操作地址的一组编码字符,是可被中央处理机理解的基本命令。其功能是:存取数据、完成算术和逻辑运算,控制输入输出设备。指令由操作码和地址码组成。操作码规定计算机操作的性质,地址码指明操作数所在地址(源地址)和操作结果应送往的地址(目的地址)
15	指令系统 instruction set	指一台计算机所能执行的全部操作,也就是一台计算机的全部指令
16	机器指令 machine instruction	指计算机可以直接识别和执行的指令。由一组二进制位组成
17	指令周期 instruction cycle	指从存储器中取出和执行一条指令的全部时间。指令周期是计算机操作的基本操作时间单位,在计算机产品说明书中一般有平均执行一条指令所需时间
18	地址 address	指用以标识信息存储位置的编号。通常是指寄存器和存储器中各存储单元的编号,目的是便于存取信息
19	寻址方式 addressing mode	根据机器指令的地址码产生操作数实际地址的方法
20	存储器 memory storage	指能接收数据和保存数据、并能根据命令提供这些数据的装置。通常“memory”指主机中的存储器,而“storage”指外部存储器,如硬盘、软盘、磁带等存储装置
21	存储单元 memory unit	指存储系统中可以存储一个字(16位或32位的二进制位)的电路,并具有特定地址的基本单位
22	主存储器 main memory	又称“内存”。指计算机的主要工作存储器。处理器和某些外围设备(如磁盘)可直接访问主存储器。一般计算机在工作时,所执行的指令及操作数均从主存中取出。主存可与各种外存储器交换数据

(续)

序号	名 词 术 语	含 义 说 明
23	辅助存储器 auxiliary memory, storage	又称“外存储器”。指在主机外面,为弥补主存储器容量不足而使用的大容量存储器。它和主存储器成批交换数据。其特点是:存储容量大,存取速度比主存储器慢;信息能长期保存;通常备用信息放在辅存储器中,常用信息和待处理信息放在主存储器中。磁盘机、磁带机等都是辅存储器
24	高速缓冲存储器 cache	指主存储器与中央处理器之间的高速小容量存储器。一般用半导体存储器实现,并由硬件完成它与主存之间的信息自动调度,这样高速的运算部件和指令部件就可以与缓冲器直接联系,从而达到主存储器与中央处理器在速度上的匹配
25	磁盘 disk	指具有磁表面的圆盘形磁记录媒体,它是磁盘存储器的一个重要组成部分。磁盘分为硬磁盘和软磁盘两类
26	磁盘驱动器 disk driver	指以旋转的磁盘或磁盘组作为记录媒体的数字磁记录装置。它由磁盘、磁头、机械伺服装置和读写电路等组成,可分为硬磁盘机和软磁盘机两类
27	磁带 magnetic tape	指具有磁表面的柔软带状记录媒体
28	外围设备 peripheral device	简称“外设”。指计算机中除主机以外的其它设备,常指输入设备、输出设备和外存储器
29	输入设备 input device	指向计算机输入信息的设备,如键盘、鼠标等
30	输出设备 output device	指用来记录或显示计算机处理结果的设备,如显示器、打印机、绘图机等
31	输入/输出缓冲器 input/output buffer	指中央处理器与低速输入/输出通道间的缓冲器。它接收并保存输入设备要送入中央处理器的数据或中央处理器要送给输出设备的数据,以便协调高速中央处理器与低速输入输出设备之间通信产生的时序问题
32	硬拷贝 hardcopy	又称“复印文本”。一种打印或书写机器输出的记录。它可直接供人阅读,并永久保存
33	光标 cursor	指在显示器上用来指示屏幕上当前处理位置的一种标志,是由若干光点组成的一种符号,常见的有下划线、十字形、箭头等。其位置由计算机控制,也可通过功能键、鼠标或光笔等进行移动。它指示的位置即为当前操作的位置
34	终端 terminal	指一个用户直接使用或接触的所有装置的总称,包括数据终端装置、数据通信装置、及必需的维护设备。它也可由数据终端、信号转换器和中间设备组成。该装置能连到数据处理机上或作为处理器的一个部分
35	接口 interface	指两个不同系统的交接部分。例如,两种硬设备的接口装置,两个程序块的接口程序,两个或多个程序共同访问的存储区
36	中断 interrupt	指在程序运行中,因处理某种紧急事件暂时中止现行程序而转入与事件有关的处理程序,处理结束又返回原程序的过程。一个中断系统应完成如下功能:①实现中断与返回;②实现优先权排队,在有多个中断源发生时,中央处理器首先处理优先权较高的中断事件,然后再处理优先权较低的事件;③高级中断应能中断低级中断的中断源,即中央处理器在处理某一中断事件时,若有更高级中断源发出中断,则中央处理器应暂停对较低中断的处理而先接受较高级中断源,这也就是中断嵌套的概念

(续)

序号	名 词 术 语	含 义 说 明
37	中断源 interrupt source	指引起计算机中断的事件。硬件故障 (如电源断电、奇偶校验错)、外部事件 (如控制台设置开关、计时器满等)、输入输出事件 (如请求输入输出操作等)、程序事件 (如非法操作、定点溢出等) 以及用户要求进入管理程序等均可成为中断源
38	软件 software	它是相对于“硬件” (参看序号 6) 而言的, 包括计算机运行所需的各种程序及其有关资料。例如汇编程序、编译程序、诊断程序、控制程序、专用软件包、程序库程序、数据管理系统、各种维护使用的工具手册、程序说明和框图等。软件是计算机在日常工作时不可缺少的。它可以增加计算机的功能并提高计算机效率, 它是计算机系统的重要组成部分
39	比特 bit	是度量信息的单位。二进制中一个数位所包含的信息量称为 1bit
40	字节 byte	指作为一个单位来处理的一串二进制数位。例如: 4 位、6 位或 8 位, 一个字节通常指 8 位二进制位
41	字 word	指在计算机和信息系统中, 在存储、传送或操作时, 作为一个单元的一组二进制位 (通常指 16bits 或 32bits)
42	字长 word length	指计算机一次可处理的二进制位
43	字符 character	指表示数据的字母、数字以及计算机键盘上的其它符号
44	文件 file	指由若干逻辑记录构成的信息集合。这些记录可以是同种类型, 也可能是不同种类型。一般存储在磁盘或光盘等媒体中
45	双精度数 double-precision number	又称“双精度量”、“双字数”。一种在长度上是通常计算机字长两倍的数。目的是提高运算精度
46	系统软件 system software	指在计算机系统中, 供所有用户使用的软件, 包括操作系统、汇编程序、编译程序及各种服务性程序等
47	操作系统 operating system (OS)	指为提高计算机的利用率, 方便用户使用计算机以及提高计算机的响应时间而配备的一种程序。它是用户与计算机之间的接口。其主要功能为管理中央处理器、内存、外围设备和控制作业的运行以及处理中断等。此外, 各种子系统 (编译程序、编辑程序、装配程序等) 和应用程序皆在操作系统控制下运行。现在微机常用的操作系统是“视窗 95”
48	诊断程序 diagnostic program	指一种专门用于检测和定位计算机硬件故障或软件错误的程序。它是专供计算机应用人员或系统管理员使用的程序。例如, 检测硬设备故障时, 可运行相应的诊断程序, 使计算机单步操作, 由此跟踪各逻辑部件的逻辑状态, 并打印出这些状态, 以用来分析判断故障
49	软件包 software package	指为用户使用计算机提供方便的程序系统。它通常指由应用程序组成的程序库
50	程序 program	指为解决某一问题而设计的一系列指令。程序一般分为系统程序和应用程序两大类

(续)

序号	名 词 术 语	含 义 说 明
51	主程序 main program	指调用子程序而又不被任何子程序所调用的程序
52	子程序 subprogram	指可被另一程序调用的程序
53	源程序 source program	指用源语言编写的计算机程序。这种程序在运行之前,必须翻译成机器语言。可用汇编程序或编译程序将源程序翻译成机器语言的目标程序
54	目标程序 object program	指程序员编的源程序经过汇编或编译产生的机器语言程序
55	程序设计 programming	①指设计、书写及检查程序的过程;②指确定解题方式,设计程序流程图,使问题内容和解题计划变为计算机能够接受的指令或语句序列
56	程序设计语言 programming language	指编写计算机程序所用的语言。程序设计语言可以是面向机器的语言、面向过程的语言或面向问题的语言。例如, BASIC、COBOL、FORTRAN、C、PASCAL 等都是程序设计语言
57	算法 algorithm	指解题方法的精确描述。它具有以下性质:①解题算法是一种有穷的动作序列;②动作序列仅有一个初始动作;③序列中每一动作仅有一个后继动作;④序列终止表示问题得到解答或没有解答
58	模块化程序设计 modularized programming	指把程序系统分成模块,按模块进行编制的程序设计方法。每一模块的编制要求相对独立,以便于对各模块进行编译、检验、修改和维护
59	结构化程序设计 structured programming	指一种采用结构化的方式编制程序的方法。其要点在于,不是一步就编制成可执行的程序,而是分步进行,逐步求精。第一步编出程序的抽象级最高,第二步编出的程序抽象级比第一步低,依次类推。第 <i>i</i> 步编出的程序抽象级比第 <i>i-1</i> 步低,直到最后,第 <i>n</i> 步编出的程序即为可执行程序。采用这种方法编制程序看起来似乎复杂,其实好处很多。它可以使程序易读、易写、易调试、易维护、易于保证程序的正确性,易于验证程序的正确性。特别是在软件工程中,采用这种方法可以收到较好的效果。这种方法亦称为“自顶向下”或“逐步求精”法
60	流程图 flowchart	指用几何图形(方框和圆框等,参看表 JC9-28)、流线及文字说明来描述计算过程的框图。框图的优点是直观,能将设计者的思路表达得清楚易懂,便于检查修改
61	菜单 menu	指由若干可供选择的项目组成的表。例如在显示器上显示出若干程序名或图形、字符等,用户可用鼠标或数字键来选择
62	死循环 endless loop	指一种程序运行错误,即因编程上的错误所引起的一种无休止的重复操作
63	汇编器 assembler	指把符号语言程序译成目标语言程序。其方法是用机器操作码替换符号操作码,用绝对地址或可再定位的地址代替符号地址
64	反汇编器 disassembler	指“汇编”的一种逆过程。在这种过程中,把机器语言的目标程序翻译为助记符形式的符号语言程序。反汇编是常用的调试手段之一,是剖析机器代码目标程序的重要工具

(续)

序号	名 词 术 语	含 义 说 明
65	宏功能 macro	指对正文进行代入或嵌入的一种功能。即由某个字符串去替换源程序中的某个标识符
66	宏汇编程序 macro-assembler	宏功能最早是作为汇编语言的一部分来实现的。宏汇编程序就是实现具有宏功能的汇编语言的程序。它和普通汇编语言的区别是定义和使用宏命令
67	伪指令 pseudo-instruction	指一种与计算机指令形式相同但计算机却不把它作为正式指令来执行的代码
68	跟踪 trace	指一种解释、分析和诊断的技术。这种技术用于对某些指令进行分析,并且在跟踪的指令执行后将发生的情况记录下来
69	跟踪程序 tracer	指检查源程序是否符合计算意图的程序。主要有:①路线跟踪,即按程序执行的路线,输出关键点的有关信息;②赋值跟踪,即在程序执行中遇到有跟踪标志的语句时,就输出该语句有关的变量值信息;③变量跟踪,即在程序运行中遇有跟踪标志的变量时,输出有关变量值的信息;④追溯跟踪,当结果运行出错后,把出错前的一段程序的有关线路和赋值情况输出,以供用户分析出错原因
70	软件可靠性 software reliability	指保证软件可靠性的措施,主要有以下三种:①测试;②用数学方法证明其正确性;③改革程序设计语言的方法,使得设计过程中不易出错,而出错时容易查出,即“结构程序设计”等方法 软件可靠性包括软件是否便于查错,是否有查错的措施以及防止错误传播的措施等
71	语句 statement	①在计算机程序设计中,高级语言中的一个有意义的表达式;②使计算机执行一串操作的一个宏指令
72	表达式 expression	指高级语言含有加、减、乘、除运算的式子
73	标号 label	指在计算机程序中,用来标识一个语句或一条指令或一个数据项的一组字符
74	数据 data	指能够由计算机处理的数字、字母和符号等。是用于描述对象、概念状态或情况的基本信息单元
75	数据结构 data structure	指数据的组织形式。有抽象数据结构和物理存储结构之分。抽象数据结构包括串、数组、队列、堆栈、树、图等。物理存储结构包括向量、链表
76	队列 queue	指等待处理的项目序列
77	链表 linked list	对于内存中不相邻的数据元素,有一个字段用来指示表中下一个数据元素的存放地址,这样形成的表称为“链表”
78	排序 sort	①指根据一定规则对项目进行分组;②指根据关键字或字段有关规则,对信息项目加以排列整理的动作;③指根据每个项目中所包含的和指定的关键字,将文件中的项目进行分类或整理成有序序列的程序
79	检索 search	指从存储在计算机中的大量数据中,按关键字查找某些特定的数据
80	递归 recursion	指一个程序在运行过程中直接或间接地访问其本身的特性

(续)

序号	名 词 术 语	含 义 说 明
81	加密 encryption	加密技术是在密码与暗号概念的基础上建立起来的。数据加密指的是把数据从它的原始格式变成一个伪装了的格式,借以隐蔽数据的真正含义。常用三种基本的加密方法为替换密码法,易位法及组合法
82	数据库 data base	指在计算机存储设备上合理存放的相互关联的数据的集合。这些数据集合有如下特点:①尽可能不重复;②以最优方式服务于一个或多个应用程序(应用程序对数据资源的共享);③数据的存放尽可能的独立于使用它的应用程序(数据独立性);④用一个软件统一管理这些数据,例如维护、增加、变更和检索这些数据
83	诊断 diagnosis	指对于计算机硬设备故障或软件错误进行检测和定位的过程。通常采用专门的程序(诊断程序)来检测和定位故障或错误。例如,用于程序设计排错和用于数据检错的诊断程序
84	调试 debug	又称“排除故障”。指检测并排除计算机软件出错和硬件故障的过程。包括查找程序中引起运行出错的位置、纠正程序错误、排除计算机硬件故障等。调试工作一般要借助计算机系统提供的一些调试工具,例如为汇编语言用户提供的动态调度工具,具有设断点、跟踪、变量打印等调试手段,以提高调试效率
85	汉字库 chinese character library	指一种存储汉字信息的装置。通常用点阵法或向量法组成汉字库。点阵法是将汉字划分成二维平面的不连续的点阵。有点处为“1”,无点处为“0”,这样形成汉字二进制信息。将汉字的点阵信息按一定顺序输入存储器,就构成了汉字库。向量法在字库中保存的是汉字的坐标向量,用这种方法构成的字库所占存储空间小
86	智能控制 intelligent control	指包括人工智能和智能机器人等内容的一个新学科领域。它大体包括两方面:研究和模拟人类智能活动及其控制与信息传递过程的规律;研制具有某些仿人智能的工程控制系统和信息处理系统
87	智能仪器 intelligent instrument	指把微处理机与仪器结合起来并具有智能的仪器
88	计算机辅助制造 computer aided manufacturing (CAM)	指利用计算机来进行生产设备管理、控制和操作的技术。例如在产品制造过程中,应用计算机来控制机器的运行,处理产品制造中所需的数据,控制和处理材料的流动以及对产品进行试验和检验。英文简称“CAM”。它与计算机辅助设计(CAD)有密切的关系,CAD的输出结果常作为CAM的输入。CAD侧重于设计过程,而CAM侧重于产品的生产过程。计算机辅助制造能提高产品质量,降低产品成本,缩短生产周期以及改善制造人员的工作条件
89	计算机辅助设计 computer aided design (CAD)	指利用计算机来进行工程设计(包括选择计算、编制表格、绘制图样)的技术。英文简称“CAD”
90	计算机辅助测试 computer aided test (CAT)	指利用计算机进行测试的技术。英文简称“CAT”。例如大规模集成电路的电路复杂,需要测试很多参数,人工测试慢而且不准确,可以利用计算机对电路进行自动测试,得出各种交直流参数,并可进行逻辑关系测试,产品的分类和筛选等

(续)

序号	名词术语	含义说明
91	计算机网络 computer network	指以共享资源为目的,通过数据通信线路将多台计算机互连而成的系统。资源包括网络中的计算机硬件、软件和数据。多台计算机通常在地理上是广泛分布的,其连接方式有集中式、分布式和环式三种
92	网络拓扑 network topology	指网络中结点和链路的几何排列和连接模式,如星形、环形、树形等
93	集中式网络 centered network	指由一台中央计算机与分散在各地的多台计算机相连并由中央计算机集中地控制信息交换的计算机网络。任何两台远程计算机之间的通信必须经过中央计算机
94	分布式网络 distributed network	指把某些网络控制分配到若干个网络结点的一种计算机网络
95	环形网络 ring network	指各结点以环形方式相连的一种计算机网络。每一个结点只与其相邻的结点相连
96	局域网 local area network	指在几百米到几千米范围内,把几台至几十台计算机和计算机外围设备用通信协议连接起来的系统
97	堆栈 stack	指计算机存储器中一个只能从一端进行存取连续存储区。堆栈可以是连续存储区中的任何一个连续区域,按后进先出的方式存取信息,并由一个堆栈指示器对存取过程进行协调
98	溢出 overflow	指进行算术运算所产生的结果超出了机器所能表达的范围。为避免这种现象带来的错误结果,通常对算术运算部件设立溢出标志,一旦发生溢出,该标志可使计算机或控制部件采取相应的中断措施
99	奇偶校验 parity check	指根据一组二进制数位中的1(或0)的个数为奇数或偶数而进行校验的方法。在一组数位中附加一位奇偶位,用来表示这组数位中的1(或0)的个数为奇数或偶数,经过存储或传输后,再求一次奇偶位,与原来的奇偶位相比较,若不一致则表示有错。当一组数位中的1(或0)的个数为偶数时,其奇偶位为0,否则为1,称为偶校验;当一组数位中的1(或0)的个数为奇数时,其奇偶位为1,否则为0,称为奇校验
100	联机 on-line	①指相对于设备或一个系统而言,另一设备与之直接相连或在其直接控制之下。②指用户能和计算机直接互相联系

(二) 计算机的分类、发展及组成

1. 计算机的分类 如表 JC9-2 所示。

表 JC9-2 计算机的分类

序号	类别	说明
1	计算机按工作原理分类	
1.1	模拟计算机	参看表 JC9-1 序号 2
1.2	数字计算机	参看表 JC9-1 序号 3
1.3	混合计算机	利用模拟技术和数字技术进行数据处理的电子计算机,它兼有两者的特点,适用于统计分析、解偏微分方程、解最优化问题及各种仿真系统中

(续)

序号	类别	说明
2	数字计算机按规模和功能分类	
2.1	巨型计算机	通常指运算速度极高,主存容量极大的计算机,其运算速度超过亿次,具有速度快、效率高、功能强、软硬件配套齐全的优点。主要用于军事和尖端科学研究
2.2	大型计算机	大中型机在运算速度和规模上都弱于巨型机,结构较巨型机简单,因而价格较便宜,应用更广泛。它们是事务处理、商业管理、信息管理、大型数据库和数据通信的主要支柱
2.3	中型计算机	
2.4	小型计算机	在微机出现之前,小型机是最低档次的计算机,其运算速度和规模都低于大中型机。小型机有体积小、价格低、性能价格比高的特点。可供一般企业、学校等单位使用
2.5	微型计算机	参看表 JC9-1 序号 4
3	数字计算机按数的表示形式分类	
3.1	定点计算机	参与运算的数据的小数点固定在同一位置上,运算时不需要对齐阶码,操作较简单,但所能表示的数据范围较小。当需要处理浮点数时,可通过程序控制来实现
3.2	浮点计算机	参与运算的数据的小数点不是固定在同一位置上,机内含有自动对齐阶码的控制电路,不需另外编程就可自动实现浮点运算。其机器结构和操作较复杂,但使用灵活,表示的数据范围大,一般大中型通用计算机都为浮点计算机

2. 计算机的发展演变 如表 JC9-3 所示。

表 JC9-3 计算机的发展演变

序号	类别	出现年份	说明
1	第一代计算机 (电子管计算机)	1946	诞生于美国,当时称为电子数字积分计算机 (ENIAC),采用电子管组成逻辑电路,用磁鼓或延迟线作主存储器,结构上以 CPU 为中心,使用机器语言或汇编语言编制程序,运算速度为 5000 次/s,主要应用于科学计算
2	第二代计算机 (晶体管计算机)	1957	采用晶体管做为基本逻辑电路,用磁芯存储器作主存储器,结构上以存储器为中心,在软件系统中出现了面向过程的程序设计语言,运算速度提高到每秒几十万次到上百万次。应用范围由科学计算扩展到数据处理、自动控制、企业管理等各方面
3	第三代计算机 (集成电路计算机)	1965	采用中小规模集成电路作为基本逻辑电路,主存储器与第二代相似,但外围设备种类逐渐增加,软件功能进一步完善,运算速度每秒达几百万次到上亿次
4	第四代计算机 (大规模集成电路计算机)	70 年代初	采用大规模集成电路,以半导体存储器取代了磁芯存储器。高级语言、操作系统、数据库、应用软件等的研究和应用更加深入,使计算机更快地向两端发展,即运算速度每秒超亿次的巨型机和极其轻便灵活的微型机
5	第五代计算机 (超大规模集成电路计算机)	90 年代 (正在研制开发)	采用超大规模集成电路或其它新的物理器件作为主要元件。不但能进行数值处理,而且能处理声音、文字、图像和其它数值数据,并有推理、学习、会话和使用知识库等人工智能方面的能力

3. 计算机系统的组成 计算机系统包括硬件和软件两大部分组成,其关系如表 JC9-4 所示。

表 JC9-4 计算机系统的组成

序号	类别		说明
1	计算机硬件		
1.1	主机	中央处理器 (CPU)	由运算器和控制器组成 参看表 JC9-1 序号 7
		内存储器	参看表 JC9-1 序号 21、23
1.2	外围设备	输入设备	参看表 JC9-1 序号 29
		输出设备	参看表 JC9-1 序号 30
		外存储器	参看表 JC9-1 序号 24
2	计算机软件		
2.1	系统软件	操作系统	参看表 JC9-1 序号 47
		诊断系统	参看表 JC9-1 序号 48
		编译系统	参看表 JC9-29
2.2	应用软件	在系统软件支持下,直接面向实际应用的软件。如工厂供电系统计算机辅助设计软件、电气照明系统辅助设计软件、企业信息管理系统软件等	

4. 计算机系统的主要技术指标 如表 JC9-5 所示。

表 JC9-5 计算机系统的主要技术指标

序号	项目	说明
1	字长	指计算机一次可处理的二进制位的数目,由运算器中寄存器的位数决定。字长越长,数的表示范围越大,计算精度越高
2	存储量	指存储设备中能保存信息的总量。一般用数位、字节或字为单位来表示
3	运算速度	指计算机每秒的运算次数。包括加法、乘法、定点、浮点等多种指标。现在多指指令平均运算时间,即根据各种指令在科学计算中的统计频度,计算出的每条指令执行的平均时间
4	吞吐量	指一个计算机系统在单位时间内能处理的信息总量,是一个衡量计算机工作效率的指标
5	主频	指计算机主要的时序信号源的频率。在一定程度上决定计算机的运算速度。一般由 CPU 内时钟晶振频率决定
6	可靠性	指设备或器件在规定的工作时间和工作条件下正常工作而不发生故障或失效的概率。计算机的可靠性一般用平均故障间隔时间 (MTBE) 来度量
7	性能价格比	指一种衡量计算机产品性能的概括指标。这里所指的性能包括运算速度、存储容量、存取周期、可靠性等。价格指计算机的售价。性能价格比中的性能指数由专门的公式计算。性能价格比越大,表示该计算机越好

(三) 计算机硬件

1. 计算机的基本结构和工作原理 如表 JC9-6 所示。

表 JC9-6 计算机的基本结构和工作原理

序号	项 目	说 明
1	计算机基本结构示意图	<p>The diagram illustrates the basic structure of a computer. It shows four main components: '输入设备' (Input Device), '存储器' (Memory), '控制器' (Controller), and '运算器' (Arithmetic/Logic Unit). '数据' (Data) and '程序' (Program) enter from the left into the '输入设备'. The '输入设备' is connected to the '存储器'. The '存储器' is connected to the '输出设备' (Output Device), which produces '输出' (Output). The '控制器' (Controller) is connected to both the '存储器' and the '运算器'. The '运算器' is connected to the '存储器'. A legend indicates that solid arrows represent '数据线' (Data Lines) and dashed arrows represent '控制信号线' (Control Signal Lines). The '控制器' sends control signals to the '存储器' and the '运算器'. The '运算器' sends data back to the '存储器'.</p>
2	工作原理	<p>指令和数据通过输入设备送入计算机,并存储在主存储器中;控制器从主存储器中取出指令并逐条分析,以产生相应的控制信号,控制计算机各部件按一定的顺序对数据进行处理,并把处理的结果存回存储器,最后送到输出设备,打印或显示</p> <p>将程序和数据存放在计算机中称为“程序存储”,而控制器按程序指令来控制计算机自动完成计算任务称为“程序控制”。“程序存储”和“程序控制”是现代计算机的最基本特性,也称为“冯·诺依曼原理”</p>

2. 存储系统 存储器的分类,如表 JC9-7 所示。存储器的主要性能指标,如表 JC9-8 所示。常用半导体存储器,如表 JC9-9 所示。主存储器、辅助存储器、高速缓存的比较,如表 JC9-10 所示。

表 JC9-7 存储器的分类

序号	项 目	说 明
1	按存储介质分类	<ol style="list-style-type: none"> 1. 电介质 如 RAM、ROM 等 2. 磁介质 如磁盘、磁带、磁鼓等 3. 光介质 如光盘等 4. 纸介质 如纸带、穿孔卡等
2	按与中央处理器的关系分类	<ol style="list-style-type: none"> 1. 主存储器 (内部存储器) 2. 辅助存储器 (外部存储器) 3. 高速缓存
3	按存取的工作方式分类	<ol style="list-style-type: none"> 1. 随机存储器 不同存储单元的访问时间相同,速度快、价格较高 2. 顺序存储器 不同存储单元共享线性读写线路,速度较慢、价格低

表 JC9-8 存储器的主要性能指标

序号	项 目	说 明
1	存储容量	<p>指一个功能完备的存储器所能容纳的二进制信息总量,即可存储二进制信息代码的位数</p> <p>存储容量 = 存储字数 × 字长</p>
2	存取时间	<p>指从存储器的一个存储单元中读出信息所需的平均时间</p> <p>对随机存储器,一般是指从 CPU 的地址寄存器输出端发出读请求起,到所要求的信息出现在存储器输出端为止所花的时间</p>

(续)

序号	项 目	说 明
3	存取周期	<p>指存储器进行一次完整的读写操作所需的全部时间,即两次独立的存储器操作之间的最小时间间隔。如下图所示</p>
4	价格	<p>指包括信息存储单元和必需的外围电路的成本</p> $\text{每位价格} = \frac{\text{存储器及外围电路价格}}{\text{存储总位数}}$

表 JC9-9 常用半导体存储器

序号	项 目	工 艺	特 点	读写特性	典 型 电 路
1	动态 RAM (DRAM)	MOS 主要利用电容效应存储信息	工艺简单,集成度较高,价格低 需要外围刷新电路,动态刷新。速度比 SRAM 慢	可读、可写;断电前信息保持需动态刷新	
2	静态 RAM (SRAM)	MOS、双极型 一般用双稳态触发器存储信息	不需要动态刷新,外围电路简单,集成度较低,价格高,速度最快,功耗较大	可读、可写;断电前信息保持不需动态刷新	
3	只读存储器 (ROM)	MOS、双极型 掩模工艺生产	工艺简单,集成度高,价格低,可靠性高	掩模时写入信息以后只能读出,断电后也可保持信息	
4	可编程只读存储器 (PROM)	1. 电热熔断丝 2. PN 结击穿		可一次性写入信息,断电后保持信息	

(续)

序号	项 目	工 艺	特 点	读写特性	典 型 电 路
5	可擦写只读存储器 (EPROM)	MOS	价格低, 速度慢	平时只可读, 断电后保持信息, 紫外线照射可擦出原有信息	

表 JC9-10 主存储器、辅助存储器、高速缓存的比较

序号	项 目	主存储器	辅助存储器	高速缓存
1	与 CPU 的关系	可由 CPU 直接读、写	必须先通过程序调入主存储器, 才能被 CPU 调用	存放部分主存储器内容的副本, 供 CPU 高速操作
2	特 点	1. 速度快 2. 容量较大 3. 价格适中	1. 速度最慢 2. 容量大 3. 价格低	1. 速度最快 2. 容量小 3. 价格高
3	介质	RAM、ROM	磁盘、磁带、光盘	高速双极型半导体存储器

主存储器、辅助存储器、高速缓存相互关系图示

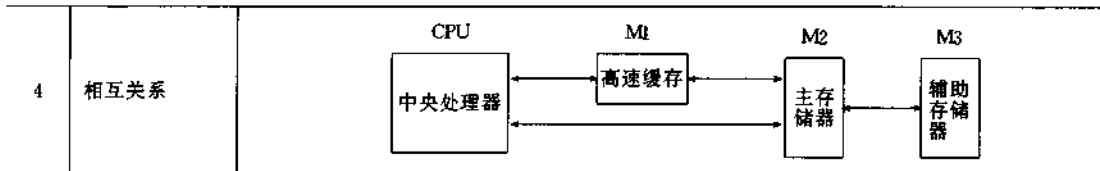


表 JC9-11 软盘的主要格式参数

序号	磁盘尺寸	磁盘类型	每面磁道数	每道扇区数	扇区字节数	磁盘容量
1	13.34cm (5.25in)	DSDD	40	9	512	360KB
2	13.34cm (5.25in)	DSHD	80	15	512	1.2MB
3	7.62cm (3.5in)	DSDD	80	9	512	720KB
4	7.62cm (3.5in)	DSHD	80	18	512	1.44MB

3. 中央处理器 中央处理器的主要功能, 如表 JC9-12 所示。中央处理器的组成, 如表 JC9-13 所示。

表 JC9-12 中央处理器的主要功能

序号	项 目	说 明
1	指令控制	组成程序的指令序列必须严格按照规定的顺序执行, 保证机器按顺序执行程序是 CPU 的首要任务
2	操作控制	一条指令的功能往往由若干个操作信号的组合来实现。CPU 对指令进行译码以产生相应的控制信号, 并送到各部件以产生要求的动作
3	时间控制	计算机中的各种操作信号均有严格的时间控制, 每条指令本身的执行过程也受到严格的时间控制
4	数据加工	CPU 对数据进行算术运算或逻辑运算处理

4. 寻址方式 寻址方式是计算机指令系统性能的重要指标之一。常见指令寻址方式如表 JC9-14 所示。

表 JC9-14 指令寻址方式

序号	项 目	内 容	优 点	缺 点
1	立即寻址	操作数直接在指令中出现的寻址方式。指令中的地址码部分表示的不是地址而是操作数本身	操作数就在指令中，不需另外寻址。速度快	操作数受地址码长度影响，精度较低
2	直接寻址	指令地址码直接指出操作数地址的寻址方式	取数速度较快	访问地址范围受地址码长度限制；操作数地址变化必须修改指令本身
3	间接寻址	指令地址码所指定的存储单元中存放的不是操作数，而是指向实际操作数的地址的寻址方式	寻址范围大，寻址方式灵活	两次访问存储器，取数速度较慢
4	变址寻址	通过变址寄存器的内容与地址码相加而获得操作数实际地址的寻址方式	寻址范围大，寻址方式灵活	因执行加法操作，取数速度比直接寻址慢
5	相对寻址	用修改地址的方式得到绝对地址的过程，即把地址码部分（相对地址）与一给定地址（基地址）相加	形成的地址可相对当前指令前后浮动	
6	寄存器寻址	由指令中一个字段指定操作数存放于某寄存器的寻址方式	执行速度最快，指令长度最短	CPU 中寄存数量限制了本指令的应用范围
7	隐式寻址	部分指令针对特定地址进行操作，因此，操作数可由指令本身隐含指出	通常是单字节指令，故执行速度快	应用范围有限

5. 输入输出系统

(1) 外设寻址方式。为确定唯一的操作设备，在输入输出操作前，CPU 需要对外设进行寻址操作。外设地址编址方法如表 JC9-15 所示。

表 JC9-15 外设地址编址方法

序号	项 目	统一编址法	单独编址法
1	编址方法	把外设中的控制寄存器、数据寄存器、状态寄存器等当作内存单元一样，统一编址	把外设中的各种寄存器独立于内存，按单独的顺序编址。通过专门的 I/O 指令进行操作
2	优点	①不需设立专门的 I/O 指令，可用普通的数据传送指令进行 I/O 操作，故应用十分方便 ②对外设数目可不加限制只要让出主存储器地址即可	①外设不占用主存储器空间 ②在有专门的 I/O 指令，故程序清楚明了
3	缺点	外设占用内存地址空间	需要专门的 I/O 指令

(2) CPU 与外设间的数据传送方式，如表 JC9-16 所示。

表 JC9-16 CPU 与外设间的数据传送方式

序号	项 目	过 程	特 点	应 用
1	程序查询	主机与外设间的信息传送完全通过 CPU 执行程序访问外设来实现。工作过程为：主机启动外设，开始查询等待；当外设准备就绪后，才开始传送	①主机与外设串行工作 ②外设就绪前 CPU 处于空等状态效率较低	主要用于低、中速设备
2	程序中断	主机启动外设后，不等待查询外设状态，而转入执行其他程序；一旦外设工作完成，会主动向主机发出中断请求信号；主机在适当条件下，暂停正在执行的程序，开始转入中断服务程序	①主机与外设并行工作 ②CPU 不用查询等待，效率较高 ③中断现场保护与恢复需占用一些时间	主要用于中、低速设备，特别适于随机的服务请求
3	DMA 方式	在主存与外设间建立直接的数据通道。一旦有 DMA 请求，CPU 暂停，让出总线周期，在主存储器与外设间进行一次数据传送。这种占用不破坏 CPU 现场，无需中断现场保护，又称“周期窃取”	①DMA 传送无需现场保护，响应速度更快 ②DMA 需要专门的 DMA 控制器，价格较高	主要用于中、高速设备
4	通道方式	通道工作方式与 DMA 类似，而且通道控制器可与 CPU 分时使用内存，进一步提高 CPU 效率	①可用软件编程比 DMA 更灵活 ②可控制多台不同类型的设备 ③CPU 效率更高	主要用于高速设备

(3) 常见总线接口标准，如表 JC9-17 所示。

表 JC9-17 常见总线接口标准

序号	项 目	说 明
1	RS232 接口	美国电子工业协会所规定的一种标准化接口。它是调制解调器与其相连的数据终端设备之间的接口。对于音频调制解调器，接口引线可以是具有公共地线的单线。该接口规定用双极性信号，负向信号表示“1”，正向信号表示“0”。该接口的最大允许电压为±25V。驱动源信号的典型幅度为±(6~10)V。内阻为数百欧姆。终端最小信号幅度为±3V。该设备和地之间的电压差最多可为±2V，此时驱动源信号幅度必须不小于±5V。终端阻抗要求为3000~7000Ω
2	IEEE-488 总线	美国电气和电子工程师协会在 HP 公司于 1972 年研制成功并获得广泛应用的 HP-IB 基础上发表的标准接口总线。它是一个字节串行、各位并行的接口系统，主要供可编程的测量仪器使用，构成测量计算系统。这种通用的系统规定了所有的电路、电缆、接插件、控制规程和全部信息，保证设备之间转换数据时没有模糊之处。该系统受到下述约束：①一条相关的总线上最多只能连接 15 个设备。②总线传输距离不超过 20m，或 2m 乘以设备数目，以限制数目较小的为准。③通过任何信号的速率必须小于或等于 1MB/s 字节。④所有的数据交换都是数字化的
3	STD 总线	一种用于工业控制系统的微机总线。1978 年底由 Pro-log 公司推出，共有 56 条信号线，其中 8 条数据线、16 条地址线、22 条控制线、10 条电源线，是一种设计较为周到、适应性较好的总线。1985 年 4 月推出的 STD 总线新规范，采用多路转换技术使其可用于 16 位微机系统

(4) 中断。主要中断源类别，如表 JC9-18 所示。中断过程，如表 JC9-19 所示。

表 JC9-18 主要中断源类别

序号	类别	说明
1	输入输出设备	如键盘、显示器、打印机、磁盘机等, 在需要与 CPU 交换数据时, 大多通过中断方式
2	故障与错误	如电源掉电、校验出错、溢出、非法指令、地址出错及过程控制中的现场警告等
3	实时时钟	利用外部时钟电路完成定时任务, 若时间已到, 则向 CPU 发出中断请求
4	软件设置	用实现系统功能调用或调试程序, 可由程序员通过编程方式, 事先安排

表 JC9-19 中断的过程

序号	项目	说明
1	中断请求	由中断源向 CPU 发出一个信号, 请求 CPU 为其提供服务。一般由专门的中断请求电路完成 中断请求的条件: 1. 外设准备就绪 2. 系统中断允许
2	中断判优	对有多个中断源的系统, CPU 接到中断请求后, 将根据中断优先级确定是否响应及响应的顺序。中断系统首先对优先级高的中断请求进行响应, 如有中断程序正在执行, 则只有更高优先级的中断请求会被响应
3	中断响应	CPU 响应最高优先级中断请求, 并在适当时发出中断信号。该信号到达中断源后, 中断源向 CPU 发送中断向量。根据此向量可找到相应的中断程序入口。再保护断点 (即被中断程序下条指令的地址) 和现场 (CPU 现行程序的主要状态和参数), 并建立另一个新现场
4	执行中断服务程序	执行程序, 完成中断服务的主要功能。其程序在结构上大致可分为三部分: ①先保护被中断程序的现场 ②完成对中断源的服务 ③恢复被保护的现场, 返回原中断点
5	中断返回	与上一过程紧密相连。在执行完最后一条指令后, 就进入中断返回。即把进入中断服务前保护的断点装入程序计数器 PC, 使 CPU 返回被中断程序处继续执行

(四) 计算机软件

1. 二进制数及各种符号的表达

(1) 二进制的概念。使用一组 (共两种) 特定符号, 并按先后顺序排列, 由低向高进位, 以表达一个数字的计数方法。其中所能用的数码个数称为“基数”, 某一位上所隐含表示的固定常数称为该位的“权”。基数和权是进位计数制的两个基本概念。表 JC9-20a 为十、二、八、十六进制比较; 表 JC9-20b 为进制之间的换算关系。

表 JC9-20a 十、二、八、十六进制比较

序号	项目	十进制	二进制	八进制	十六进制
1	基数	0~9	0, 1	0~7	0~9, A~F
2	位权	10	2	8	16

表 JC9-20b 进制之间的换算关系

序号	项 目	
1	转化为十进制数	各位按位加权, 其公式为 $(x)_a = \sum_{i=n}^m k_i a^i = k_n a^n + k_{n-1} a^{n-1} + \dots + k_1 a^1 + k_0 a^0 + \dots$ 式中, k_i 表示 x 中第 i 位的数值; a 是进制基数
2	转化为非十进制数	①整数部分 长除基数取余 ②小数部分 连乘基数取整

(2) 带符号二进制数的表达。表 JC9-21 为其原码、反码和补码的比较。

表 JC9-21 原码、反码和补码的比较

序号	项 目	原 码	反 码	补 码
1	定点整数 定点小数	$[x]_{原} = \begin{cases} x & 2^{n-1} > x \geq 0 \\ 2^{n-1} - x & 0 \geq x > -2^{n-1} \end{cases}$ $[x]_{原} = \begin{cases} x & 1 > x \geq 0 \\ 1 - x & 0 \geq x > -1 \end{cases}$	$[x]_{反} = \begin{cases} x & 2^{n-1} > x \geq 0 \\ (2^n - 1) + x & 0 \geq x > -2^{n-1} \end{cases}$ $[x]_{反} = \begin{cases} x & 1 > x \geq 0 \\ (2 - 2^{-n}) + x & 0 \geq x > -1 \end{cases}$	$[x]_{补} = \begin{cases} x & 2^{n-1} > x \geq 0 \\ 2^n + x & 0 > x > -2^{n-1} \end{cases} \pmod{2}$ $[x]_{补} = \begin{cases} x & 1 > x \geq 0 \\ 2 + x & 0 > x > -1 \end{cases} \pmod{2}$
2	“0”值的表示	有两种形式 $[+0] = 0.000\dots$ $[-0] = 1.000\dots$	有两种形式 $[+0] = 0000\dots$ $[-0] = 1111\dots$	唯一的表示 $[+0] = 000\dots$ $[-0] = 000\dots$
3	特 点	真值与机器数之间的转换方便直观, 但加减运算时必须判断符号, 运算复杂	反码的主要用途是通过反码求负数的补码	把符号与数值统一编码, 使任意符号的两个数加、减法变为单纯的正数加法, 简化了运算和机器结构
4	转换关系	①真值与原码的转换关系 (x , 表示符号位) $[x]_{原} = x_n \cdot x_{n-1} x_{n-2} x_{n-3} \dots x_0$ 则 $[x]_{原} = x_n + |x|$ ②原码与补码的转换关系 $[x]_{原} \xrightarrow[\text{各位变反加1}]{\text{符号位保留}} [x]_{补} \quad [x]_{补} \xrightarrow[\text{各位变反加1}]{\text{符号位保留}} [x]_{原}$ ③补码正、负数间的转换 $[x]_{补} \xrightarrow[\text{每位变反再加1}]{\text{连同符号位在内}} [-x]_{补}$		

(3) 字符的二进制表达。数字式计算机只能识别二进制“0/1”代码, 所有其它符号在计算机中必须以 0/1 代码形式表示。表 JC9-22 为各种二-十进制编码中数的表示。表 JC9-23 为 ASCII 码表。

表 JC9-22 各种二-十进制编码中数的表示

十进制	8421 码	2421 码	余 3 码	格雷码
0	0000	0000	0011	0000
1	0001	0001	0100	0001
2	0010	0010	0101	0011
3	0011	0011	0110	0010
4	0100	0100	0111	0110
5	0101	1011	1000	0111
6	0110	1100	1001	0101
7	0111	1101	1010	0100
8	1000	1110	1011	1100
9	1001	1111	1100	1000

表 JC9-23 ASCII 码表

	000	001	010	011	100	101	110	111
0000	NUL	DLE	SP	0	@	P	`	p
0001	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0010	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0011	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0100	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
0101	ENG	NAK	%	5	E	U	e	u
0110	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0111	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
1000	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
1001	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1010	NL	SUB	*	:	J	Z	j	z
1011	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
1100	NP	FS	,	<	L	\	l	|
1101	CR	GS	-	=	M	]	m	}
1110	SO	RS	.	>	N	^	n	~
1111	SI	US	/	?	O	_	o	DEL

2. 程序设计语言 程序设计语言分类如表 JC9-24 所示, 解释方式与编译方式的比较如表 JC9-25 所示, 几种常见高级语言功能比较如表 JC9-26 所示。

表 JC9-24 程序设计语言分类

序号	项 目	说 明
1	机器语言	由机器指令组成, 能够直接被计算机识别和执行, 使用绝对地址和绝对操作码, 运行速度快, 但不直观, 难编写, 难记忆, 易出错
2	汇编语言	使用英文缩写和数字代表机器指令, 与机器语言相比更直观、更易于记忆和编程; 可使用伪指令和地址标号, 但必须经过汇编翻译成为机器指令才能被计算机识别和执行; 其汇编后的程序运行速度与机器语言相当, 汇编语言和机器语言都是面向机器的程序设计语言, 又称为“初级语言”

(续)

序号	项目	说明
3	高级语言	是一种接近于自然语言和数学表达式的, 独立于机器的程序设计语言, 需要经过语言处理程序编译或解释处理后才能执行。高级语言比较直观, 通用性强, 易于编写、记忆和查错 常见高级语言及比较, 参看表 JC9-26

表 JC9-25 解释方式与编译方式的比较

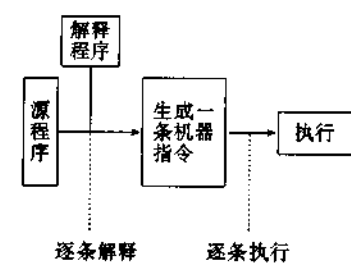
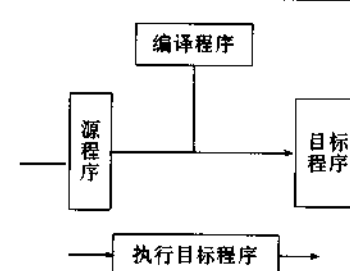
序号	项目	解释方式	编译方式
1	相同点	都是把源语言程序翻译成可执行的机器语言程序的一种方法	
2	不同点	①逐行翻译, 逐行执行; 不生成可执行程序 ②每次执行, 必须重新逐行翻译, 执行速度慢。 源程序和解释程序必须同时存于内存	源程序一次性全部翻译, 并生成可执行程序 直接执行可执行程序, 速度快。执行时, 可不需要编译程序, 更方便灵活
3	图示		

表 JC9-26 几种常见高级语言功能比较

序号	语种	难度	翻译手段	程序规模	解题能力	调试难度	应用范围
1	BASIC	易	解释/编译	小	较弱	易	要求不高的一般问题
2	FORTRAN	一般	编译为主	大/小	强	一般	科学、工程计算
3	COBOL	难	编译	大	较强	一般	数据处理
4	PASCAL	较易	编译/解释	大/小	强	较易	科学计算、数据处理
5	C	难	编译	大/小	最强	难	系统程序设计及其他问题

3. 操作系统 操作系统的功能、分类及示例, 如表 JC9-27 所示。

表 JC9-27 操作系统的功能、分类及示例

序号	项目	说明
1	操作系统的功能	①有效地管理计算机系统资源。如 CPU、存储器、外围设备等硬件资源和管理文件等软件资源 ②为用户创造良好的工作环境和使用的条件, 使之能安全可靠地使用计算机
2	操作系统的分类	
2.1	单用户操作系统	系统每次只能支持一个用户程序运行
2.2	批处理操作系统	需要处理的作业成批输入计算机, 由操作系统自动逐个完成作业, 无需用户对每个作业都加以具体控制

(续)

序号	项 目	说 明
2.3	分时操作系统	也称多用户操作系统。它在硬件上由一台主机和多台终端组成, 允许多个终端同时使用一台主机。在分时系统中, 把 CPU 时间分成时间片, 每个用户程序只能运行一个时间片, CPU 轮流为每个程序服务
2.4	实时操作系统	指能够对实时采样数据进行及时处理的系统。按用途又可分为生产过程的实时控制系统和用于事务管理的实时信息处理系统
2.5	网络操作系统	利用通信功能把多台各自独立的计算机连接在一起, 并对之进行管理的操作系统
3	常见操作系统的示例	
	DOS WINDOWS UNIX VMS	

4. 软件工程 流程图的主要符号, 如表 JC9-28 所示; 结构化程序设计的三种基本结构, 如表 JC9-29 所示。

表 JC9-28 流程图的主要符号






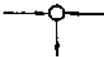
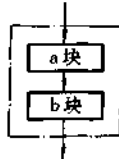
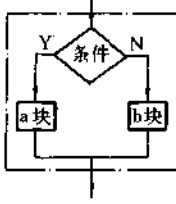
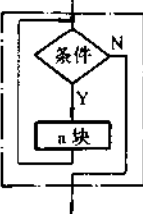
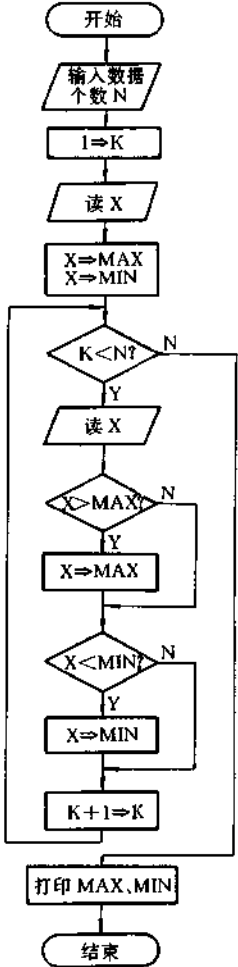
序号	符 号	说 明	序号	符 号	说 明
1		起止框, 表示算法的开始和结束	4		输入输出框, 表示进行输入输出操作
2		处理框, 表示运算、赋值等操作	5		流程线, 用箭头方向表示程序的流向
3		判断框, 根据是否符合特定的条件, 来选择将要执行的程序路径	6		连接点, 两个具有相同标记的“连接点”连接成一个点

表 JC9-29 结构化程序设计的三种基本结构、特点及示例

序号	项 目	说 明	序号	项 目	说 明
1	顺序结构 	顺序结构中的各块按先后顺序依次执行。其中, 每个块可能是一条语句, 也可能是三种结构中的一种	2	选择结构 	选择结构中, 根据给定条件是否满足而决定执行两条路径之一, 但不能两者都执行。且无论执行块 a 或块 b, 在执行后程序都将汇合到同一个程序出口点 B

目
录
二
十
六

(续)

序号	项 目	说 明	序号	项 目	说 明
3	<p>循环结构</p> 	<p>循环结构中, 当给定的条件满足时, 程序将执行指定块 a, 并在块 a 执行完成后重新返回块 a 的入口点判断条件是否满足。如此反复执行, 直到给定条件不满足为止。这种循环又称为“当循环”</p>	5	示例	<p>例: 找出 N 个数据中的最大值和最小值</p> 
4	特 点	<p>①只有一个入口 ②只有一个出口 ③无死循环</p>			

(五) 计算机系统设计基本步骤及应用资料

1. 计算机系统设计基本步骤 如表 JC9-30 所示, 常见微机 CPU 芯片如表 JC9-31 所示, 美国 Intel 公司单片机系列见表 JC9-32。

表 JC9-30 计算机系统设计基本步骤

序号	项 目	说 明
1	系统总体方案设计	
1.1	确定控制方案	根据系统要求, 确定是开环系统、闭环系统或数据处理系统。如是闭环系统还应采用直接数字控制 (DDC)、计算机监督控制 (SCC) 或是分布式控制

(续)

序号	项 目	说 明
1.2	选择检测元件	根据系统要求正确选择测量传感器
1.3	选择执行机构	根据系统要求正确选择控制执行机构。常用的执行机构有电动执行机构、气动薄膜调节阀、步进电动机、液压伺服机构四类
1.4	选择输入输出通道及外围设备	为系统配置适当的外围设备(如打印机、CRT、磁盘机等),并考虑以下问题:并行或串行操作、数据传输速率、通道字长及选择位数、被控对象参数个数、对打印或显示有无特殊要求等
1.5	确定整个系统原理图	根据以上四点及工艺和现场要求,适当划分软硬件功能,并画出完整的系统原理图
2	建立数学模型及确定控制算法	
2.1	直接数字控制	当被控制对象的数学模型(即系统动态特性的数学表达式)可以确定时,可采用直接数字控制。如最少拍随动系统、最少拍无波纹系统及大林算法等
2.2	数字化 PID 控制	当被控制对象数学模型难以确定或系统参数受环境影响变化太大而无法进行直接数字控制时,可采用数字化 PID 控制
3	CPU 选择	
3.1	选用现成系统	如系统较大,需要的外设较多,时间较紧则可直接选用现有系统。选用时应注意: ①系统设计留有余地,有较强的扩展能力 ②外设齐全,并尽量在同一厂家配齐 ③系统结构良好,便于使用和维护,并尽量选用具有标准总线产品 ④图纸资料齐全,有良好售后服务能力 ⑤系统软件丰富
3.2	用芯片组设计	如进行批量生产或对于简单系统,可选用现有芯片组进行设计
4	系统硬件设计	
4.1	存储器设计	根据 CPU 类型、系统程序和数据量的大小,适当选择
4.2	模拟量输入、输出通道设计	①根据系统精度选择 A/D 和 D/A 转换器件 ②确定与主机的连接形式
4.3	开关量输入、输出通道设计	
4.4	系统速度匹配	适当选择系统工作频率。在允许的条件下,应尽量选择较低的工作频率,以降低系统对器件的要求,降低成本和提高可靠性
4.5	系统负载匹配	①逻辑电路间的接口及负载匹配 ②CPU 本身的驱动能力
4.6	操作面板设计	操作面板是人机对话的接口,其设计好坏直接影响系统的使用
5	系统软件设计	

(续)

序号	项 目	说 明
5.1	软硬件功能划分	由于许多功能都既可由软件实现,又可由硬件实现,所以,必须加以仔细地综合平衡。其划分将影响整个系统的性能价格比。一般来说,用硬件实现的速度快、节省CPU时间,但系统较复杂、价格较贵,而用软件实现比较经济,但占用较多CPU时间。当系统实时性允许时,应尽量采用软件方式
5.2	软件设计过程	①确定数据结构,划分功能模块 ②画出详细的程序流程图 ③选择适当的程序设计语言 ④完成各程序模块设计,并连成完整的程序
6	系统调试	
6.1	硬件调试	
6.2	软件调试	
6.3	软硬件联调	

2. 计算机应用资料 常见微机CPU芯片如表JC9-31所示,美国Intel公司单片机系列如表JC9-32所示,供参考。

表 JC9-31 常见微机 CPU 芯片一览表

型 号	主 频	总 线	晶体管数	厂 家	备 注
Intel 386SX	16-33	内部 32 外部 16	275000	Intel	
Intel 386DX	16-33	内部 32 外部 32	275000	Intel	
Intel 386SL	20-25	内部 32 外部 16	855000	Intel	有 CACHE, 内存控制器, 节电
Intel 486SX	16-33	内部 32 外部 32	900000	Intel	8KB CACHE, 无协处理器
Intel 486DX	25, 33, 50	内部 32 外部 32	1200000	Intel	8KB CACHE, 增强微操作码
Intel 486DX2	50, 66	内部 32 外部 32	1200000	Intel	亦称 OVERDRIVER, 可升级为 PENTIUM
Intel 486DX4	100	内部 32 外部 32	1200000	Intel	
Intel Pentium	50, 66, 90	内部 64 外部 32	3000000	Intel	“奔腾” 586, 16KB CACHE

(续)

型 号	主 频	总 线	晶体管数	厂 家	备 注
Am 386SX	25, 33, 40	内部 32 外部 16	161000	AMD	比 Intel386SX 节电 35%
Am 386DX	25, 33, 40	内部 32 外部 32	161000	AMD	
CX486 SLC	20, 25, 40	内部 32 外部 16	600000	Cyrix	1KB CACHE, 无协处 理器
CX486 DLC	50	内部 32 外部 32	600000	Cyrix	1KB CACHE, 有协处 理器

表 JC9-32 美国 Intel 公司单片机系列一览表

型 号		ROM 形式和容量			RAM 容量	寻址 范围	I/O				中 断 源
		ROM	EPROM	外 接			定时/计数	并行 I/O	串行 I/O	A/D	
MCS-48 系列	8020	1KB			64B	1KB	1×8 位	1×8 位			
	8021	2KB			64B	2KB	1×8 位	1×8 位			
	8022	2KB			64B	2KB	1×8 位	1×8 位		2×8 位	2
	8049	2KB			128B	4KB	1×8 位	1×8 位			2
	8749		2KB		128B	4KB	1×8 位	2×8 位			2
	8039			2KB	128B	4KB	1×8 位	2×8 位			2
	8048	1KB			64B	4KB	1×8 位	2×8 位			2
	8748		1KB		64B	4KB	1×8 位	2×8 位			2
	8035			1KB	64B	4KB	1×8 位	2×8 位			2
MCS-51 系列	8051	4KB			128B	64KB	2×16 位	2×8 位	1		5
	8751		4KB		128B	64KB	2×16 位	2×8 位	1		5
	8831			4KB	128B	64KB	2×16 位	2×8 位	1		5
MCS-96 系列	8796		8KB		232B	64KB	2×16 位	8×8 位	1		8
	8394	8KB			232B	64KB	2×16 位	8×8 位	1		8
	8096			8KB	232B	64KB	2×16 位	8×8 位	1		8
	8394	8KB			232B	64KB	2×16 位	8×8 位	1		8
	8094			8KB	232B	64KB	2×16 位	8×8 位	1		8
	8397	8KB			232B	64KB	2×16 位	8×8 位	1	8×10 位	8
	8097			8KB	232B	64KB	2×16 位	8×8 位	1	8×10 位	8
	8395	8KB			232B	64KB	2×16 位	8×8 位	1	8×10 位	8
	8095			8KB	232B	64KB	2×16 位	8×8 位	1	8×10 位	8
	87C196		8KB		232B	64KB	2×16 位	8×8 位	1	8×10 位	8
	83C198	8KB			232B	64KB	2×16 位	8×8 位	1	8×10 位	8
	80C196			8KB	232B	64KB	2×16 位	8×8 位	1	8×10 位	8

主要参考文献

- 1 机械工程手册, 电机工程手册编委会编. 电气工程师手册. 北京: 机械工业出版社, 1987 年
- 2 中国电子学会电子计算机学会编. 英汉计算机辞典. 北京: 人民邮电出版社, 1984 年
- 3 刘凤翔主编. 英汉计算机与通信辞典. 安徽: 中国科技大学出版社, 1993 年
- 4 中国大百科全书电子学与计算机编委会编. 中国大百科全书电子学与计算机卷. 北京: 中国大百科全书出版社, 1986 年
- 5 潘新民, 王燕芳编著. 单片微型计算机实用系统设计. 北京: 人民邮电出版社, 1993 年
- 6 周明德编著. 微型计算机硬件软件及其应用. 北京: 清华大学出版社, 1993 年

十、电工材料基础 (JC10)

(一) 常用的电工材料名词术语

供电技术中较常用的电工材料名词术语, 如表 JC10-1 所示。

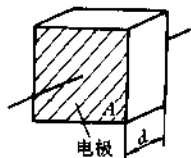
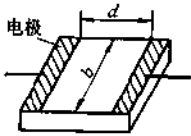
表 JC10-1 常用的电工材料名词术语

序号	名词术语	含义说明
1	导电材料 conductive material	指在电场作用下能产生大量自由移动的带电粒子, 因而能很好地传导电流的材料, 包括导体材料和超导材料, 导电材料的主要功能是传输电能和电信号, 此外, 导电材料还广泛用于电磁屏蔽, 制造电极和电热材料等
2	导体材料 conductor material	指在室温条件下用来传导电流的材料。通常指电阻率为 $(1.5 \sim 10) \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ 的金属, 而且其电阻率随着温度的升高而增大。温度每升高 $1^\circ C$, 电阻率的增加量与原来电阻率的比值, 称为“电阻温度系数”
3	超导材料 super-conducting material	指在足够低的温度和足够弱的磁场条件下电阻率为零的材料。超导材料不仅具有零电阻特性, 而且具有完全的抗磁性。现已发现 20 多种元素和几千种合金和化合物可作成超导体。不过由于超导材料由正常态转变为超导态受到一些临界参数如临界温度、临界磁场等的影响, 使得其实际应用受到很大局限, 目前应用的领域不广, 但应用前景是可观的
4	半导体材料 semiconductor material	指在室温条件下导电性介于导电材料与绝缘材料之间, 电阻率约为 $10^{-5} \sim 10^7 \Omega \cdot m$ 的固体材料, 其电阻率随温度升高而减小。这一特性与导电材料不同, 而与绝缘材料相似。典型的半导体材料是以共价键(参看表 JC3-1 序号 62) 结合为主的。元素晶体硅和锗、III-V 族化合物及 II-VI 族化合物构成了大部分半导体材料
5	绝缘材料 electrical insulating material	指用于使不同电位的导电部分隔离的材料, 又称“电介质”。其电阻率约在 $10^9 \Omega \cdot m$ 以上, 而且随着温度升高而明显减小。当温度升高到一定值时, 其电阻率骤减到接近于零, 这时称为“热击穿”。绝缘材料除了主要用作电气绝缘外, 在不同的电工产品中, 还分别起着储能、散热、冷却、灭弧、防潮、防霉、防腐蚀、防辐射、机械支承和固定、保护导体等作用。绝缘材料种类很多, 可分气体、液体、固体三大类
6	磁性材料 magnetic material	指具有铁磁性能的材料。它能够被磁化, 能够被磁铁所吸引。磁性材料可分软磁材料和硬磁材料两大类
7	软磁材料 soft magnetic material	指具有低矫顽力和高磁导率的磁性材料。这类材料容易磁化, 也容易退磁, 广泛用于电工设备和电子设备, 如变压器铁心、电机铁心、电磁铁铁心和永久磁铁的磁轭部分等
8	硬磁材料 hard magnetic material	指具有高矫顽力、高剩磁及一经磁化即能保持恒定磁性的材料, 又称“永磁材料”。它广泛用于电工、电子及其它领域, 在电工领域中如磁电系仪表的磁系统、电度表的制动磁铁、永磁电机中的磁极等

(续)

序号	名词术语	含义说明
9	矫顽力 coercive force	指使已被磁化的铁磁体的磁通密度降为零所必需加的磁场强度。符号为 H_c ，单位为“安/米”(A/m)
10	剩余磁通密度 remanent magnetic flux density	指铁磁体的外加磁场强度减小到零时，它尚保持的磁通密度的数值，或称“剩余磁感应强度”，简称“剩磁”。符号为 B_r ，单位为“特〔斯拉〕”(T)或“韦〔伯〕/米 ² ”(Wb/m ²)
11	复合导体 composite conductor	指采用热轧、爆炸、喷涂等工艺，将两种或两种以上的金属复合起来，制成具有耐热、耐腐蚀和高强度等不同特性的金属导体
12	电磁线 electromagnetic conductor	指一种具有绝缘层的金属导线，用以绕制电工产品的线圈或绕组，因此又称“绕组线”。电磁线按绝缘层的特点及用途，可分为漆包线、绕包线、无机绝缘电磁线和特种电磁线等四类
13	电刷 brush	指与运动部件滑动接触而形成电联结的、一般是静止的导电部件
14	电阻材料 resistance material	指用作电阻的材料。电阻材料要求电阻温度系数小，稳定性好，机械加工性好，能耐各种腐蚀，对铜的热电动势小。通常为一些合金材料，如锰铜合金、镍铬合金等
15	电热材料 electroheat material	指用作电热元件的材料。电热材料要求具有较高的电阻率，较小的电阻温度系数，通过电流时能产生较大的热量和稳定的功率，抗高温氧化性强，耐腐蚀性好，有足够的高温强度和使用寿命，且机械加工性好。通常为一些合金材料，如铁铬铝合金、镍铬合金等
16	触头材料 contact material	指电气触头所用的材料。电气触头可分开闭触头和滑动触头两类。使用场合和条件不同，对触头材料的要求也有差异。供电工程技术领域所用的电气触头中，断路器要求触头材料具有优良的抗熔焊性和耐电弧侵蚀性以及长期承受负荷电流、短时通过短路电流的能力；而接触器、起动器等控制电器则要求导电导热性好、抗熔焊、耐机电磨损、有足够的使用寿命等，滑动触头材料则要求耐磨性和滑动性好，接触可靠
17	熔体材料 fuse-element material	指用作熔断器中熔体的材料。当通过熔断器的电流大于某一规定值时，熔体熔断，切断电路，从而达到保护线路和设备的目的。由于熔断器的类型不同，所采用的熔体材料相差也很大。熔体材料的选用，很大程度上取决于熔断器的保护特性和分断能力的不同要求
18	双金属材料 bimetallic material	指由两层不同热膨胀系数的金属或合金彼此牢固地结合而成的复合材料。其中热膨胀系数较高的一层，称为主动层；热膨胀系数较低的一层，称为被动层。有时为了获得特殊的性能，还可以有第三层、第四层等，习惯上仍统称为双金属片
19	热电偶材料 thermocouple material	指构成热电偶的材料。热电偶由两种成分不同的金属导体在其一个端部焊接在一起所构成。其焊接端称为工作端或热端；另一端称为自由端或冷端。当两端温度不同时，自由端的两个接点之间就会产生热电动势，此热电动势为热电偶两端温差的函数。如果自由端温度保持恒定，则其热电动势成为工作端温度的单值函数，因此可通过仪表测量温度。热电偶广泛用于温度测量和温度控制，工作温度可从3.2K的深低温直至2800℃的超高温。作为热电偶材料，要求其热电性能稳定，电导率高，有良好的化学稳定性和抗氧化性能，熔点高，机械加工性能好等

(续)

序号	名词术语	含义说明
20	压电材料 piezoelectric material	指具有压电效应的材料。某些电介质(如石英、电气石、酒石酸钾钠等晶体)在压力作用下发生极化从而在其受压两端表面之间产生电位差,这种效应称为“压电效应”,或称“正压电效应”。它的逆效应,就是置于电场中的这种电介质会产生弹性形变,称为“电致伸缩”,或称“逆压电效应”。上述电介质就是压电材料。常见的压电材料有压电晶体和压电陶瓷两类。压电晶体的典型代表为结晶石英,而压电陶瓷则是人工制造的多晶材料,如钛酸钡和钛酸铅等
21	介电强度 dielectric strength	指单位厚度的电介质(绝缘材料)被击穿的最低电压值,又称“击穿强度”或“绝缘强度”,也有的称为“电气强度”,常用单位为“kV/mm”
22	体积电阻率 volume resistivity	指表征绝缘材料内部导电性能的一个物理量,可按下式计算 $\rho_v = R_v \frac{A}{d}$ 式中, R_v 为体积电阻; A 为测量电极的有效面积; d 为测量电极间距离 
23	表面电阻率 surface resistivity	指表征绝缘材料表面导电性能的一个物理量,可按下式计算 $\rho_s = R_s \frac{b}{d}$ 式中, R_s 为表面电阻; b 为测量电极的长度; d 为测量电极间距离 
24	抗拉强度 tensile strength	指材料单位截面积所能承受的外施最大拉力。如果拉力再增大,材料就会断裂。绝缘材料常用的“抗张强度”的含义与“抗拉强度”相同
25	抗压强度 compressive strength	指材料单位截面积所能承受的外施最大压力。如果压力再增大,材料就会破裂
26	抗弯强度 bending strength	指材料单位截面积所能承受的外施最大弯曲力。如果弯曲力再增大,材料就会变形或断裂
27	抗冲击强度 anti-shock strength	指材料单位截面积所能承受的最大冲击负载所作的功。如果冲击负载所作的功再增大,材料就会破坏
28	热导率 thermal conductivity	指表征物质热传导性能的一个物理量,又称“导热系数”。其定义为面积热流量除以温度梯度。设在物体内部垂直于导热方向取两个相距 1cm、面积为 1cm ² 的平行平面,而这两个平面温度相差 1℃,则在 1s 内从一个平面传导到另一个平面的热量即为该物质的“热导率”,其 SI 单位为“W/(m·K)”,这里 K 为热力学温度单位, 1K=1℃

(二) 导电材料

1. 部分导电纯金属的物理性能 如表 JC10-2 所示。

表 JC10-2 部分导电纯金属的物理性能

序号	物理性能	银 Ag	铜 Cu	金 Au	铝 Al	钨 W	锌 Zn	铁 Fe	锡 Sn	铅 Pb
1	电阻率/($10^{-6}\Omega \cdot m$)(20℃)	0.0162	0.0172	0.0240	0.0282	0.0548	0.0610	0.100	0.114	0.219
2	电导率/($MS \cdot m^{-1}$)(20℃)	61.5	58.0	41.5	35.4	18.3	16.4	9.98	8.76	4.58
3	电阻温度系数 ($10^{-3}^{\circ}C^{-1}$)(20℃)	3.80	3.93	3.40	3.90	4.50	3.70	5.00	4.20	3.90
4	密度/($g \cdot cm^{-3}$)(20℃)	10.5	8.92	19.3	2.70	19.3	7.14	7.86	7.35	11.37
5	比热容/($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)	234.5	385.2	134	921	134	397.7	477.3	234.5	129.8
6	熔点/℃	960.5	1083	1063	660	3380	419.4	1535	232	327.5
7	热膨胀系数 ($10^{-5}^{\circ}C^{-1}$)(20℃)	18.9	16.6	14.2	23.0	4.0	33	11.7	20	29.1
8	热导率/($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	418.7	386.4	296.4	222	159.9	112.6	61.55	64.48	35.09
9	熔化潜热/($10^4 J \cdot kg^{-1}$)	10.47	21.19	6.74	39.36	18.42	10.09	27.21	6.07	2.64
10	弹性模数/ $10^4 MPa$	7.85	11.77	7.85	7.16	32.5	7.85	19.61	5.39	1.8
11	抗拉强度/MPa	147	196	98	78	1079	147	245	24.5	15.7
12	硬度(HB)	30	30	25	15~26	255	20~60	60	12	3.5
13	热电动势/mV	+0.75	+0.75	+0.70	+0.38	+0.79	+0.77	+1.91	+0.45	+0.44

2. 部分导电铜合金和铝合金的物理性能及应用范围 如表 JC10-3 所示。

表 JC10-3 部分导电铜合金和铝合金的物理性能及应用范围

序号	类别	物理性能					应用范围	
		电导率 $MS \cdot m^{-1}$	抗拉强度 MPa	硬度 (HB)	伸长率 (%)	软化温 度/℃		
1	导电铜合金							
1.1	电导率 大于40 MS/m	银铜(Cu-0.1Ag)	55.7	343~441	95~110	2~4	280	通常用作焊接 电极、换向片、高 强度耐热引线、 导线、通信线、电 车线和电器触桥 等
		铁铜(Cu-0.1Fe-0.03P)	53.4	402~451	100~120	7~10	425	
		镉铜(Cu-1Cd)	49.3	588	100~115	2~6	280	
		铬铜(Cu-0.5Cr)	49.3	490	110~130	15	500	
		锆铜(Cu-0.2Zr)	52.2	392~471	120~130	10	480	
		锆铈铜(Cu-0.5Cr-0.15Zr)	46.4	539	140~160	10	520	
1.2	电导率 20~40 MS/m	镍硅铜(Cu-4Ni ₂ -Si)	31.9	588~686	150~180	6	450	通常用作导电 弹簧、导电滑环、 集成电路引线框 架材料、焊接电 极、导线、电车 线、通信线等
		钴镍铜(Cu-0.3Be-1.5Co)	29	735~883	210~240	5~10	400	
		铁钴锡铜(Cu-1.5Fe-0.8Co-0.6Sn)	29	588~686	150~180	5~10	475	

(续)

序号	类别		物理性能					应用范围
			电导率 MS·m ⁻¹	抗拉强度 MPa	硬度 (HB)	伸长率 (%)	软化温 度/℃	
1.3	电导率 小于 20 MS/m	铍铜(Cu-2Be-0.3Co)	13~15	1275~1442	350~420	1~2	400	通常用作插接件、导电弹簧、继电器、电位器、开关等的导电接触簧片和开关零件
		钛铜(Cu-4.5Ti)	5.8	883~1079	300~350	2	450	
		镍锡铜(Cu-9Ni-6Sn)	6.4	1177~1373	350~400	2	450	
		锡磷青铜(Cu-7Sn-0.2P)	6~9	686~883	200~250	7	300	
		硅锰青铜(Cu-1Mn-3Si)	6.4~7.5	637~735	150~200	2~5	350	
		锌白铜(Cu-15Ni-20Zn)	4.6~5.8	785~922	230~270	2	300	
2	导电铝合金							
2.1	热处理型	铝镁硅(Al-0.5~0.9Mg-0.3~0.7Si)	>30	294~353		4		可用作架空导线和电车线等
		铝镁(Al-0.65~0.9Mg)	30~33	226~255		2		
2.2	非热处理型	铝镁铁(Al-0.5~0.8Fe-0.2Mg)	33~36	113~127		>15	>150	适于作电线、电缆的线芯和电磁线等
		铝锆(Al-0.1Zr)	33~35	177~186		2		

注:铜(铝)合金中其它元素前的数字为其含量(指质量分数)的百分数。

3. 部分电磁线的型号、特点及应用范围 如表 JC10-4 所示。

表 JC10-4 部分电磁线的型号、特点及应用范围

序号	类别	型号	规格 mm	耐温指数 ℃	特点		应用范围
					优点	缺点	
1	漆包线						
1.1	油性漆包线	Q	0.02~2.50 (裸线直径,下同)	105	①漆膜均匀;②介质损耗角正切小	①耐刮性差;②耐溶剂性差(对使用浸渍漆应注意)	中、高频线圈及仪表、电器的线圈
1.2	缩醛漆包圆铜线	QQ-1 QQ-2 QQ-3	0.02~2.50	—	①热冲击性好;②耐刮性好;③耐水解性好	漆膜卷绕后可产生湿裂(浸渍前须在120℃左右加热1h以上,消除裂痕)	普通中小电机、微电机的绕组,油浸变压器的绕组,电器仪表的线圈
	缩醛漆包扁铜线	QQB	a边 0.8~5.6, b边 2.0~18.0				
1.3	聚胺酯漆包圆铜线	QA-1 QA-2	0.015~1.00	—	①在高频条件下,介质损耗角正切小;②可直接焊接,无需刮去漆膜;③着色性好	①过载能力小;②热冲击及耐刮性一般	要求Q值稳定的高频线圈、电视线圈及仪表用的微细线圈

(续)

序号	类别	型号	规格 mm	耐温指数 °C	特点		应用范围
					优点	缺点	
1.4	聚酯漆包圆铜线	QZ-1/155/I QZ-2/155/I QZ-1/155/II QZ-2/155/II	0.02~2.50	155	①耐电压性能好; ②软化击穿性能好	①耐水解性差;②与含氯高分子化合物不相容	通用中小型电机和干式变压器绕组、电器仪表的线圈
	聚酯漆包扁铜线	QZB	a边 0.8~5.6, b边 2.0~18.0				
1.5	改性聚酯亚胺漆包圆铜线	QZYH-1 QZYH-2	0.06~2.50	180	①热冲击性能好; ②软化击穿性能好; ③耐冷冻剂性能好; ④耐热性能好	与含氯高分子化合物不相容	高温电机、制冷装置及干式变压器的绕组,仪器仪表的线圈
	改性聚酯亚胺漆包扁铜线	QZYHB	a边 0.5~5.6, b边 2.0~18.0				
1.6	聚酰胺酰亚胺漆包圆铜线	QXY-1 QXY-2	0.06~2.50	200	①耐热性、热冲击性、软化击穿性好; ②耐刮性好;③耐化学药品性、耐冷冻剂性好	与含氯高分子化合物不相容	高温、重负荷的电机、牵引电机、制冷装置及干式变压器的绕组,仪器仪表的线圈
1.7	聚酰亚胺漆包圆铜线	QY-1 QY-2	0.02~2.50	220	①耐热性极好;②软化击穿性、热冲击性好;能承受短时过负荷;③耐低温性好;④耐辐照性好;⑤耐溶剂、耐化学药品性好	①耐刮性一般;②耐碱性差;③耐水解性差;④漆膜卷绕后可产生湿裂(浸渍前须在150°C左右加热1h以上,消除裂痕)	耐高温电机和干式变压器的绕组、密封继电器及电子元件
1.8	自粘性漆包圆铜线	QAN	0.10~0.44	120	不需浸渍处理,经一定温度烘焙后能自行粘合成型	不宜在过载条件下使用	电子元件和无骨架线圈
1.9	耐热型自粘性漆包圆铜线	QZN	0.05~0.80	130	①不需浸渍处理,经一定温度烘焙后能自行粘合成型;②耐化学药品性良好;③粘接力强;④有阻燃性		微电机、仪表、电视机、无骨架线圈
	自熄型自粘性漆包圆铜线	—	0.05~0.50	120			电器和无骨架线圈

(续)

序号	类别	型号	规格 mm	耐温指数 C	特点		应用范围
					优点	缺点	
1.10	改性聚酯亚胺-聚酰胺酰亚胺复合漆包圆铜线	QZYH/QXY	0.06~2.50	180	①耐热冲击性能好;②软化击穿性能好;③耐冷冻剂性能好;④耐化学药品性能好	与含氯高分子化合物不相容	高温电机、制冷装置电机及干式变压器的绕组
	改性聚酯亚胺-聚酰胺酰亚胺复合漆包扁铜线	QZYHB/QXYB	a边 0.8~5.6, b边 2.0~18.0				
2	绕包线						
2.1	纸包圆铜线	Z	1.0~5.6	105	用作油浸变压器绕组时,耐电压击穿性能好	绝缘纸易破裂	油浸变压器绕组
	纸包扁铜线	ZB	a边 0.9~5.6, b边 2.0~18.0				
2.2	聚酰胺纤维纸(Nomex)纸包圆铜线、扁铜线	—	—	200	①能经受严酷的加工工艺;②与干式、油浸式变压器通常使用的原材料相容;③无工艺污染		用于高温干式变压器和中型高温电机的绕组
2.3	双玻璃丝包圆铜线	SBEC	0.25~6.0	130	①过载能力强;②耐电晕性好	①抗弯性较差;②耐潮性较差	中、大型电机绕组
	双玻璃丝包扁铜线	SBECB	a边 0.9~5.6, b边 2.0~18.0	155			
2.4	聚酰胺薄膜绕包圆铜线	Y	2.5~6.0	220	①耐热性和耐低温性好;②耐辐照性好;③高温下耐电压性好	在含水密封系统中易水解	高温电机及特殊场合使用电机的绕组
	聚酰胺薄膜绕包扁铜线	YB	a边 2.0~5.6, b边 2.0~16.0				
3	特种电磁线						
3.1	换位导线	QQLBH	a边 1.56~3.82, b边 4.7~10.8	105	①简化绕组绕制工艺;②绕组内涡流损耗小;③比纸包线槽满率高	弯曲性能差	大型变压器绕组

(续)

序号	类别	型号	规格 mm	耐温指数 ℃	特点		应用范围
					优点	缺点	
3.2	聚乙烯绝缘 尼龙护套 套湿式潜 水电机 绕组线	QYN SYN	5.0mm ² 23.6mm ² (截面)	70	①耐水性良好;② 护套机械强度高	槽满率低	潜水电机的绕组

注:表中仅列出圆铜和扁铜漆包线,也可根据需要制成圆铝和扁铝漆包线。

4. 部分触头材料的物理性能及应用范围 如表 JC10-5 所示。

表 JC10-5 部分触头材料的物理性能及应用范围

序号	类别	密度 (g·cm ⁻³)	硬度 (HB)	电阻率 (10 ⁻⁸ Ω·m)	特性	应用范围	
1	银氧化物触头材料						
1.1	银 氧化 镉	AgCdO12 ^① AgCdO15 ^② AgCdO10 ^③ AgCdO15 ^④ AgCdO10-15 ^⑤	不小于 9.75 不小于 9.65 不小于 10.20 不小于 10.10 不小于 10.10	不小于 55 不小于 65 不小于 70 不小于 80 不小于 80	不大于 2.3 不大于 2.6 不大于 2.3 不大于 2.6 不大于 3.5	导电导热性好,接 触电阻低而稳定,灭 弧能力强,耐磨 损,抗熔焊	继电器、接触器和低压 断路器(自动开关)触头
1.2	银 氧化 锌	AgZnO8 ^① AgZnO8 ^②	不小于 9.1 不小于 10.2	不小于 60	不大于 2.2 不大于 2.1	导电导热性好,耐 电磨损,抗熔焊	中小容量的低压断 路器触头
1.3	银氧化 锡氧化 铜	Ag-SnO ₂ +In ₂ O ₃ 12 ^①	不小于 9.9	不小于 100	不大于 3.1	导电导热性好,耐 电磨损,抗熔焊,但 接触电阻较大	大功率的继电器触头, 中等容量的接触器、低压 断路器触头
1.4	银氧 化锡	AgSnO ₂ 10 ^① AgSnO ₂ 15 ^①	不小于 9.6 不小于 9.5	不小于 70 不小于 75	不大于 2.4 不大于 3.0	除具有上述特性 外,尚可节约稀缺金 属铜	中等容量接触器和小 型低压断路器触头
1.5	银氧 化铜	AgCuO10	不小于 9.6	55~75	不大于 2.5	导电导热性好,接 触电阻低	小容量电气触头
2	烧结触头材料						
2.1	银镍系	AgNi10 AgNi20	不小于 10.2 不小于 10.1	不小于 $\frac{50}{80}$ ^① 不小于 $\frac{60}{90}$ ^②	不大于 2.0 不大于 2.2	导电导热性好,接 触电阻低而稳定,电 磨损小而均匀,易于 机械加工	中小容量交直流接 触器、继电器的触头及 各种开关的辅助触头
		AgNi30 AgNi40	不小于 9.8 不小于 9.7	不小于 $\frac{85}{100}$ ^① 不小于 $\frac{90}{110}$ ^②	不大于 2.5 不大于 2.7		与 AgC5、AgWC12C3 配对用于塑壳式低压断 路器的触头

(续)

序号	类别		密度 ($g \cdot cm^{-3}$)	硬度 (HB)	电阻率 ($10^{-8}\Omega \cdot m$)	特性	应用范围
2.2	银石墨系	AgC3 AgC5	不小于 8.9 不小于 8.5	不小于 $\frac{2}{40}$ ④ 不小于 $\frac{28}{35}$ ④	不大于 2.9 不大于 3.2	导电导热性好,接触电阻低,抗熔焊性极好,有自润滑作用	信号继电器、调压器与 AgNi30、40 配对用于塑壳式低压断路器的触头
2.3	银铁系	AgFe7	不小于 10.0	不小于 60	不大于 2.0	导电导热性好,耐电磨损,易加工,但易生锈斑	40A 以下交流接触器触头
2.4	银钨系	AgW40 AgW50	不小于 12.5 不小于 12.9	不小于 85 不小于 94	不大于 2.65 不大于 2.8	耐电弧侵蚀,抗熔焊,硬度高,但随着开闭次数的增加,接触电阻将增大	塑壳式低压断路器及其它小型开关、电话继电器的触头
		AgW65 AgW75	不小于 14.0 不小于 15.0	不小于 114 不小于 180	不大于 3.1 不大于 3.4		万能式低压断路器的触头
2.5	银碳化钨系	AgWC40 AgWC50 AgWC65	不小于 11.7 不小于 12.2 不小于 13.0	不小于 114 不小于 122 不小于 139	不大于 4.1 不大于 4.5 不大于 5.0	与以上银钨(AgW)系类似	低压断路器及其它小型开关触头
		AgWC12C3	不小于 9.3	不小于 60	不大于 3.2		与 AgNi30 配对用于塑壳式低压断路器触头
2.6	铜钨系	CuW50 CuW60	不小于 12.0 不小于 12.8	不小于 $\frac{105}{130}$ ④ 不小于 $\frac{115}{160}$ ④	不大于 3.0 不大于 3.5	硬度高,耐冲击,在油中使用不会氧化,耐电弧侵蚀,抗熔焊	35kV 多油断路器、防爆开关及变压器有载调压分接开关等的触头
		CuW70 CuW80	不小于 14.0 不小于 15.2	不小于 $\frac{160}{200}$ ④ 不小于 $\frac{180}{220}$ ④	不大于 4.1 不大于 5.2		10kV 及以上少油断路器及空气、SF ₆ 断路器的触头
2.7	钨镍铜	Ni10Cu4W 余	不小于 16.4	不小于 278	不大于 14	硬度高,耐电弧侵蚀,抗氧化性比铜钨触头好	高压空气断路器、SF ₆ 断路器和直流快速开关的触头

- ① 粉末冶金制品。
- ② 合金内氧化法制品。
- ③ 添加微量元素制品。
- ④ 分子数字为合金的软态硬度(HB),分母数字为其硬态硬度(HB)。

5. 部分熔体材料(低熔点合金)的成分和熔点 如表 JC10-6 所示。最常用的纯金属熔体材料为银、铜、铝、锡、铅和锌,其熔点见表 JC10-2。

表 JC10-6 部分低熔点合金熔体的成分(质量分数)和熔点

序号	合金成分(%)					熔点 °C	序号	合金成分(%)				熔点 °C
	Bi	Pb	Sn	Cd	其它			Bi	Pb	Sn	Cd	
1	20	20	—	—	Hg60	20	10	29	43	28	—	132
2	45	23	8	5	In19	47	11	57	—	43	—	138
3	49	18	12	—	In21	57	12	—	32	50	18	145
4	50	27	13	10	—	70	13	50	50	—	—	160
5	52	40	—	8	—	92	14	15	41	44	—	164
6	53	32	15	—	—	96	15	33	—	67	—	166
7	54	26	—	20	—	103	16	—	—	67	33	177
8	55.5	44.5	—	—	—	124	17	—	38	62	—	183
9	56	—	40	—	Zn4	130	18	20	—	80	—	200

(三)磁性材料

1. 电磁纯铁的牌号、成分及应用范围 如表 JC10-7 所示。

表 JC10-7 电磁纯铁的牌号、成分及应用范围

序号	类别	牌 号		主要成分(质量分数)(%),不大于					应用范围
		名称	代号	C	Si	P	S	Al	
1	铝镇静纯铁	电铁 3	DT3	0.04	0.20	0.020	0.020	0.50	不保证磁老化的 一般电磁元件
		电铁 3 高	DT3A						
		电铁 4	DT4	0.03	0.20	0.020	0.020	0.15~0.50	
		电铁 4 高	DT4A						
电铁 4 特	DT4E								
电铁 4 超	DT4C								
2	硅铝镇静纯铁	电铁 5	DT5	0.04	0.20~0.50	0.020	0.020	0.30	不保证磁老化的 一般电磁元件
		电铁 5 高	DT5A						
		电铁 6	DT6	0.03	0.30~0.50	0.020	0.020	0.30	
		电铁 6 高	DT6A						
电铁 6 特	DT6E								
电铁 6 超	DT6C								

2. 冷轧硅钢片的牌号、性能及应用范围 如表 JC10-8 所示。

表 JC10-8 冷轧硅钢片的牌号、性能及应用范围

序号	类 别	牌 号	厚度 mm	最大铁损 (W·kg ⁻¹)	最小磁感应强度 T	理论密度 (g·cm ⁻³)	应用范围
1	冷轧无取向硅钢片	DW270-35	0.35	2.70	1.58	7.60	主要用于制造小型电机、变压器的迭片铁心
		DW310-35		3.10	1.60	7.65	
		DW360-35		3.60	1.61	7.65	
		DW435-35		4.35	1.65	7.70	
		DW500-35		5.00	1.65	7.75	
		DW550-35		5.50	1.66	7.75	

(续)

序号	类别	牌 号	厚度 mm	最大铁损 (W·kg ⁻¹)	最小磁感应强度 T	理论密度 (g·cm ⁻³)	应用范围
1	冷轧无取向硅钢片	DW315-50	0.50	3.15	1.58	7.60	主要用于制造小型电机、变压器的迭片铁心
		DW360-50		3.60	1.60	7.65	
		DW400-50		4.00	1.61	7.65	
		DW465-50		4.65	1.65	7.70	
		DW540-50		5.40	1.65	7.75	
		DW620-50		6.20	1.66	7.75	
		DW800-50		8.00	1.69	7.80	
2	冷轧取向硅钢片	DQ122G-30	0.30	1.22	1.88	7.65	主要用作电力变压器和大型发电机的铁心
		DQ133G-30		1.33	1.88		
		DQ133-30		1.33	1.79		
		DQ147-30		1.47	1.77		
		DQ162-30		1.62	1.74		
		DQ179-30		1.79	1.71		
		DQ196-30		1.96	1.68		
		DQ126G-35	0.35	1.26	1.88		
		DQ137G-35		1.37	1.88		
		DQ151-35		1.51	1.77		
		DQ166-35		1.66	1.74		
		DQ183-35		1.83	1.71		
		DQ200-35		2.00	1.68		
		DQ230-35		2.30	1.63		

注:以往广泛采用热轧硅钢片作电机、变压器冲片铁心,但近年来大多被冷轧硅钢片所取代,特别是用作变压器铁心时。

3. 永磁材料的主要用途 如表 JC10-9 所示。

表 JC10-9 永磁材料的主要用途

序号	类 别		主 要 用 途	
1	铝镍钴合金	铸造铝镍钴合金	各向同性	一般磁电系仪表、微电机、速度计、磁分离器、里程表
			各向异性	精密磁电系仪表、永磁电机、扬声器
			柱状晶	精密磁电系仪表、永磁电机、微电机、行波管、磁控管
			高矫顽力	发电机、电动机、行波管、磁控管
		粉末烧结铝镍钴合金	微电机、永磁电机、继电器、小型仪表	
2	铁氧体 永磁材料	各向同性	微电机、笛簧接点元件、玩具	
		高剩磁	扬声器、印刷电机、受话器、磁控管	
		高矫顽力	电动机、发电机、吸附器、磁分离器	
3	稀土钕永磁材料		行波管、小型电机、大型发电机、副励磁机、拾音器、精密磁电系仪表、医疗设备	
4	粘结永磁材料		微电机、电器、电冰箱磁封、音响设备、计量通信设备	
5	可加工永磁材料		里程表、罗盘仪、计量仪表、微电机、继电器	

(四)绝缘材料(电介质)

1. 电工绝缘材料的型号编制 按 JB2197—77《电工绝缘材料产品分类、命名及型号的编制方法》规定,如表 JC10-10 所示。

表 JC10-10 电工绝缘材料的型号编制

序号	项 目	说 明									
1	型号的组成格式	<div style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;"> 大类代号 小类代号 参考工作温度代号 顺序号 专用附加号 </p> <p style="text-align: center;">注:必要时在第四位数字后面增加一位数字,表示产品品种顺序号</p>									
2	大类代号	1	2	3	4	5	6				
		漆、树脂和胶类	浸渍纤维制品类	层压制品类	塑料类	云母制品类	薄膜、粘带和复合制品类				
3	小类代号	漆、树脂和胶类	0	1	2	3	4	5	6	7	8
			有溶剂浸渍漆类	无溶剂浸渍漆类	覆盖漆类	瓷漆类	胶粘漆、树脂类	熔敷粉末类	硅钢片漆类	漆包线漆类	胶类
		浸渍纤维制品类	0	1	2	3	4	5	6	7	8
			棉纤维漆布类	—	漆绸类	合成纤维漆布类	玻璃纤维漆布类	混织纤维漆布类	防电晕漆布类	漆管类	绑扎带类
		层压制品类	0	1	2	3	4	5	6	7	8
			有机底材层压板类	—	无机底材层压板类	防电晕及导磁层压板类	覆铜箔层压板类	有机底材层压管类	无机底材层压管类	有机底材层压棒类	无机底材层压棒类
		塑料类	0	1	2	3	4	5	6	6	
			木粉填料塑料类	其它有机物填料塑料类	石棉填料塑料类	玻璃纤维填料塑料类	云母填料塑料类	其它矿物填料塑料类	无填料塑料类		
		云母制品类	0	1	2	4	5	7	8	9	
			云母带类	柔软云母板类	塑料云母板类	云母带类	换向器云母板类	衬垫云母板类	云母箔类	云母管类	
薄膜、粘带和复合制品类	0	2	3	5	6	7					
	薄膜类	薄膜粘带类	橡胶及织物粘带类	薄膜绝缘纸及薄膜玻璃漆布复合箔类	薄膜合成纤维纸复合箔类	多种材质复合箔类					
4	参考工作温度代号	1	2	3	4	5	6				
		105℃	120℃	130℃	155℃	180℃	180℃以上				
5	专用附加号	1	2	3	T						
		粉云母制品	金云母制品	鳞片云母制品	含杀菌剂或防霉剂产品						
		注:不附加数字的云母制品为白云母制品									

2. 电机和电器用绝缘材料的耐热等级 按JB794—66《电机、电器和变压器用绝缘材料耐热分级》规定,如表JC10-11所示(注:“电机”一词可包括“变压器”在内,参看表JC11-1序号1)。

表 JC10-11 电机和电器用绝缘材料的耐热等级

序号	耐热等级	极限温度 /C	耐热等级定义	相应的绝缘材料
1	Y	90	用经过试验证明,在90℃极限温度下能长期使用的绝缘材料或其组合物所组成的绝缘结构	用未浸渍过的棉纱、丝及纸等材料或其组合物所组成的绝缘结构
2	A	105	用经过试验证明,在105℃极限温度下能长期使用的绝缘材料或其组合物所组成的绝缘结构	用浸渍过的或浸在液体电介质中的棉纱、丝及纸等材料或其组合物所组成的绝缘结构
3	E	120	用经过试验证明,在120℃极限温度下能长期使用的绝缘材料或其组合物所组成的绝缘结构	用合成有机薄膜、合成有机瓷漆等材料或其组合物所组成的绝缘结构
4	B	130	用经过试验证明,在130℃极限温度下能长期使用的绝缘材料或其组合物所组成的绝缘结构	用合适的树脂粘合或浸渍、涂覆后的云母、玻璃纤维、石棉等,以及其它无机材料、合适的有机材料或其组合物所组成的绝缘结构
5	F	155	用经过试验证明,在155℃极限温度下能长期使用的绝缘材料或其组合物所组成的绝缘结构	用合适的树脂粘合或浸渍、涂覆后的云母、玻璃纤维、石棉等,以及其它无机材料、合适的有机材料或其组合物所组成的绝缘结构
6	H	180	用经过试验证明,在180℃极限温度下能长期使用的绝缘材料或其组合物所组成的绝缘结构	用合适的树脂(如硅有机树脂)粘合或浸渍、涂覆后的云母、玻璃纤维、石棉等材料或其组合物所组成的绝缘结构
7	C	>180	用经过试验证明,在超过180℃的温度下能长期使用的绝缘材料或其组合物所组成的绝缘结构	用合适的树脂粘合或浸渍、涂覆后的云母、玻璃纤维等,以及未经浸渍处理的云母、陶瓷、石英等材料或其组合物所组成的绝缘结构。C级绝缘的极限温度应根据不同的物理、机械、化学和电气性能来确定

3. 气体电介质的类型、性能及应用范围 如表JC10-12所示。

表 JC10-12 气体电介质的类型、性能及应用范围

序号	项 目	天然气体				六氟化硫 (SF ₆)
		空气	氮(N ₂)	氢(H ₂)	二氧化碳 (CO ₂)	
1	相对分子质量	29	28	2	44	146
2	密度/(g·L ⁻¹) (20℃,98kPa)	1.17	1.25	0.08	1.79	6.25
3	沸点/℃	-196	-195.6	-252.8	-78.7	-63.8

(续)

序号	项 目	天然气				六氟化硫 (SF ₆)
		空气	氮(N ₂)	氢(H ₂)	二氧化碳 (CO ₂)	
4	粘度/(Pa·s)	1.8×10 ⁻⁵	1.1×10 ⁻⁵	0.86×10 ⁻⁵	1.4×10 ⁻⁵	1.54×10 ⁻⁵ (30℃, 98kPa)
5	热导率/(W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	0.0314 (100℃)	0.0256 (30℃)	0.043 (100℃)	—	0.14
6	介电常数	1.00059	1.00058	1.00027	1.00096	1.002
7	直流介电强度 (kV·cm ⁻¹)	33	33	19.8	29.7	72.6~82.5
8	临界压力/MPa	—	3.394	1.297	7.397	3.76
9	临界温度/℃	-140.7	-147.1	-240	31	-45.6
10	灭弧能力	SF ₆ 约为空气的 100 倍				
11	应用范围	应用最广, 如架空线路的线间及线对地间均由空气绝缘	早期高压电容器采用氮作电介质, 现已为 SF ₆ 所取代	在氢冷发电机中, 氢除作冷却介质外, 且用作绝缘	早期高压电容器也曾用作电介质, 现也为 SF ₆ 所取代	广泛用作全封闭电器的绝缘介质和灭弧介质, 具有减小电器尺寸和防火防爆等优点

4. 液体电介质的类型、性能及应用范围 如表 JC10-13 所示。

表 JC10-13 液体电介质的类型、性能及应用范围

序号	项 目		变压器油			电容器油		电缆油	
			10 型	25 型	45 型	1 型	2 型	高压充油	35kV 油
1	运动粘度 (10 ⁻⁶ m ² ·s ⁻¹)	20℃	≤30	≤30	≤30	30~45	37~45	8~18	—
		50℃	7.5~9.6	8.5~9.6	6~9.6	9~12	9~12	3.5~6	—
2	闪点(闭口杯)/℃ 不低于		135	135	135	135	135	125	250
3	凝点/℃ 不高于		-10	-25	-45	-45	-45	-60	-12
4	酸值/(mg (KOH)·g ⁻¹) 不大于		0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.008	0.01
5	灰分(%) 不大于		0.005	0.005	0.005	0.005	0.004	—	—
6	体积电阻率/(Ω·m)		—	—	—	—	10 ¹² ~10 ¹³ (20℃)	—	—
7	介质损耗角 正切(50Hz)	20℃	≤0.005	0.0005~ 0.005	0.005 (70℃)	≤0.005	≤0.005	≤0.0015	0.01~0.013
		100℃	0.0025 ~0.025	0.001~ 0.025	—	≤0.002 (10 ³ Hz)	≤0.002 (10 ³ Hz)	—	—
8	介电常数(50Hz, 20℃)		—	—	—	—	2.1~2.3	—	—
9	介电强度/(kV·mm ⁻¹), (20℃)		16~18	18~21	—	20~23	20~23	≥20	14~16
10	应用范围		充油浸式变压器、互感器用, 应根据环境温度选择不同凝点的相应型号。45 型变压器油通常又作为油断路器的绝缘和灭弧介质			用于充灌和浸渍电力电容器		用于 110~330kV 级充油电力电缆	用于 35kV 油浸纸绝缘电力电缆

(续)

序号	项 目	烷基苯 (DDB)	苯基二甲 基乙烷 (PXE)	烷基萘	异丙基 联苯 (MIPB)	苯甲基 硅油	聚丁烯	三氯联苯 (PCB)	
1	运动粘度 ($10^{-6}m^2 \cdot s^{-1}$)	20℃	6.5~8.5	—	3.2 (30℃)	—	100~200 (25℃)	—	—
		50℃	3~4	—	—	5.3 (40℃)	—	—	—
2	闪点(闭口杯)/℃ 不 低于	125	148	154	142	280 (开口杯)	165 (开口杯)	173 (开口杯)	
3	凝点/℃ 不高于	-65	—	—	-48	-40	-10	-23	
4	酸 值/(mg (KOH) · g ⁻¹) 不大于	0.008	—	—	—	—	0.3	0.0025	
5	灰分(%) 不大于	—	—	—	—	—	—	—	
6	体积电阻率/($\Omega \cdot m$)	—	2.5×10^{12} (80℃)	2.5×10^{12} (80℃)	3.7×10^{12} (100℃)	$\geq 10^{12}$ (100℃)	$\geq 10^{12}$ (100℃)	8×10^{10} (100℃)	
7	介质损耗角 正切(50Hz)	20℃	—	—	—	—	—	—	
		100℃	0.03~0.04	0.03 (80℃)	0.03 (80℃)	0.04	≤ 0.02 (80℃)	≤ 0.05 (80℃)	0.30
8	介电常数(50Hz, 20℃)	2.2	2.5	2.5	2.5~2.6	2.6~2.8	2.1~2.3	4.6~4.7	
9	介电强度/(kV · mm ⁻¹), (20℃)	≥ 24	37	—	≥ 24	35~40	35~50	5.9	
10	应用范围	主要用于 浸渍纸或纸 膜复合介 质,可用于 电缆、电容 器和变压器	为较优良 的全膜电容 器的浸渍剂	其吸气性 优于 PXE, 但灭弧性 差,其余性 能与 PXE 相近,适于 作电容器介 质	性能与 PXE 相近, 亦适于作电 容器介质	主要用于 防火要求较 高场所使用 的电缆、电 容器和变压 器	性能与 DDB 相近, 用途亦与 DDB 相同	曾广泛用 于电容器和 变压器,但 由于它具有 毒性,70年 代起各国先 后限制或禁 止使用	

注:变压器油、电容器油和电缆油,属于矿物油;其余均为合成绝缘油。

5. 固体电介质的类型及性能特点 如表 JC10-14 所示。

表 JC10-14 固体电介质的类型及性能特点

序号	类 别	性 能 特 点
1	无机固体电介质	优点是耐高温,不易老化,具有相当好的机械强度,且其中某些材料如瓷等,成本低。缺点是加工性能差,不易适应电工设备对绝缘材料的成型要求
1.1	云母及其制品	具有长期耐电晕性的特点,是高电压设备绝缘结构中重要的组成部分,也可用于高温场合

(续)

序号	类别	性能特点
1.2	电瓷及其制品	具有优异的耐放电性能,又具有一定的机械强度,因此特别适用于高压输配电的场合。现在又制成一些机械强度高、耐高温和高介电常数的电瓷品种
1.3	玻璃、玻璃纤维及其制品	玻璃的制造工艺比陶瓷简单,并具有良好的电性能、耐热性和化学稳定性。玻璃纤维可制成丝、布、带,具有比有机纤维高得多的耐热性,在绝缘结构向高温发展中起着重要作用
2	有机固体电介质	一般具有柔韧、易加工成型的优点,但是又有易老化和耐热性能较差等缺点
2.1	天然有机固体介质	指纸、棉布、丝绸、天然橡胶等,具有柔韧、易满足工艺要求且易于获得等优点,但有易燃的缺点
2.2	合成有机固体介质	指绝缘漆、塑料、合成橡胶等,可具有一些特殊优异的电气机械性能和物理性能,如介质损耗特别小的塑料、耐热、耐油的人工合成橡胶等

6. 部分云母及其制品的主要性能及应用范围 如表 JC10-15 所示。

表 JC10-15 部分云母及其制品的主要性能及应用范围

序号	类别	介电强度 (kV·mm ⁻¹)		体积电阻率 (Ω·m)		tanδ (1MHz)	耐热等级或 工作温度/℃	应用范围	
1	云母	天然白云母	150~280	≥10 ¹³		5×10 ⁻⁴	600	主要用作电气绝缘材料和耐热材料	
		天然金云母	125~200	10 ¹¹ ~10 ¹²		1×10 ⁻³	850		
		合成云母	185~238	≥10 ¹³		3×10 ⁻⁴	1100		
2	云母带	醇酸铜云母带 (纸-铜) ^①	16~25	—		—	B (130)	主要用于高压电机主绝缘或相间绝缘等	
		醇酸玻璃云母带 (纸-玻璃)	16~25	—		—	B (130)		
		有机硅玻璃云母带 (双面玻璃布)	16~25	—		—	H (180)		
3	粉云母带	环氧玻璃粉云母带 (双面玻璃布)	24~25	—		—	B (130)		
		酚醛环氧粉云母带 (双面玻璃布)	26~33	—		—	F (155)		
		中胶环氧粉云母带 (单面玻璃布)	30~32	—		—	F (155)		
		少胶环氧粉云母带 (单面玻璃布)	≥14	—		—	F (155)		
		有机硅玻璃粉云母带 (双面玻璃布)	16~30	—		—	H (180)		
4	柔软云母板	板厚 0.15mm	25~30	常态	≥10 ¹¹	—	B (130)		主要用于电机槽绝缘和端部层间绝缘等
		0.2~0.25mm	25~32						
		0.3~0.5mm	25~28	受潮后	≥10 ¹⁰				

(续)

序号	类别		介电强度	体积电阻率		tanδ (1MHz)	耐热等级或 工作温度/℃	应用范围				
			(kV·mm ⁻¹)	(Ω·m)	(Ω·m)							
4	柔软云母板	醇酸玻璃	0.15mm	16~20	常态	≥10 ¹⁰	—	B (130)	主要用于电机槽绝缘和端部层间绝缘等			
		柔软云母板	0.2~0.25mm	18~25								
			0.3~0.5mm	16~22	受潮后	≥10 ⁸						
		有机硅	0.15mm	≥20	常态	≥10 ¹⁰				—	H (180)	
		柔软云母板	0.2~0.25mm	≥25								
			0.3~0.5mm	≥20	受潮后	≥10 ⁸						
	有机硅玻璃	0.15mm	16~26	常态	≥10 ¹⁰	—	H (180)					
	柔软云母板	0.2~0.25mm	18~28									
		0.3~0.5mm	16~26	受潮后	≥10 ⁸							
5	柔软粉云母板	醇酸玻璃	0.15mm	16~25	—			—	B (130)			
		柔软粉云母板	0.2~0.25mm	18~25								
			0.3~0.5mm	16~22								
		环氧玻璃	0.15mm	≥25		—	—				B (130)	
		柔软粉云母板	0.2~0.25mm	≥30								
			0.3~0.5mm	≥30								
	有机硅玻璃	0.15mm	≥15	—	—			H (180)				
	柔软粉云母板	0.2~0.25mm	≥25									
		0.3~0.5mm	≥20									
6	塑型云母板	虫胶塑型云母板	0.15~0.25mm			35~50	常态		≥10 ¹¹	—	B (130)	供塑制绝缘筒、管、棒及V型环等制品
			0.3~0.5mm			30~40						
			0.6~1.2mm			25~30	受潮后		≥10 ¹⁰			
		有机硅塑型云母板	0.15~0.25mm	35~50	常态	≥10 ¹¹	—	H (180)				
			0.3~0.5mm	30~40								
			0.6~1.2mm	≥25	受潮后	≥10 ⁹						
	聚酰亚胺塑型云母板	0.15~0.25mm	≥35	常态	≥10 ¹¹	—			H (180)			
		0.3~0.5mm	≥30									
		0.6~1.2mm	≥25	受潮后	—							
7	换向器云母板	虫胶换向器云母板	板厚 0.4~2.0mm	18~35	—		—	B (130)		用于直流电机换向器片间绝缘		
		聚酰亚胺换向器云母板		≥18	—		—	H (180)				
				≥18	常态		≥10 ¹¹	—			B (130)	
8	换向器金云母板	虫胶换向器金云母板	≥18	受潮后	≥10 ¹⁰							

(续)

序号	类别		介电强度 (kV·mm ⁻¹)	体积电阻率 (Ω·m)		tanδ (1MHz)	耐热等级或 工作温度/℃	应用范围	
				常态	受潮后				
8	换向器金云母板	磷酸胺换向器金云母板	≥18	常态	5×10 ¹⁰ ~10 ¹¹	—	H (180)	用于直流电机换向器片间绝缘	
				受潮后	5×10 ⁸ ~10 ⁹				
9	环氧换向器粉云母板		20~40	—		—	B (130)		
10	衬垫云母板	虫胶衬垫云母板 有机硅衬垫云母板	板厚 0.4~2.0mm	20~40	常态	≥10 ¹¹	—	B (130)	主要用作电工设备绝缘垫圈、垫片如阀型避雷器火花间隙的云母垫圈等
					受潮后	≥10 ¹⁰			
				≥20	常态	5×10 ¹⁰ ~10 ¹¹	—	H (180)	
					受潮后	5×10 ⁸ ~10 ⁹			
11	磷酸胺衬垫金云母板	≥20	常态	5×10 ¹⁰ ~10 ¹¹	—	H (180)			
			受潮后	5×10 ⁸ ~10 ⁹					
12	环氧衬垫粉云母板		20~40	—		—	B (130)		
13	耐热金云母板		47	10 ¹³		5×10 ⁻³	700~800	主要用作工业电热设备绝缘、家用电器发热元件绝缘等	
14	耐热合成云母板		39	10 ¹³		2.5×10 ⁻³	1000		
15	耐热白粉云母板(W-650)		46~70	10 ¹¹ ~10 ¹²		—	650		
16	耐热金粉云母板(YW-900)		46~70	10 ¹¹ ~10 ¹²		—	900		

① 序号2~3“类别”栏内加括号的文字,为其补强材料的名称。

7. 部分电工陶瓷的主要性能及应用范围 如表 JC10-16 所示。

表 JC10-16 部分电工陶瓷的主要性能及应用范围

序号	类别	介电强度 (kV·mm ⁻¹)	相对介电常数	体积电阻率 (Ω·m)	tanδ (50Hz)	强度/MPa			抗冲击强度 (J·cm ⁻²)	应用范围
						抗压	抗张	抗弯		
1	电绝缘装置瓷									
1.1	高低压电瓷	25~35	5.2~6	10 ¹¹ ~10 ¹²	0.015~0.02	390~490	20~29	49~69	(16~19)×10 ⁻⁵	作工频设备绝缘件
1.2	滑石高频瓷	30~45	5.7~6.5	≥10 ¹²	0.001~0.0015	588~784	39~49	118~157	(29~40)×10 ⁻⁵	作高频和真空设备绝缘件
1.3	高铝氧高频瓷	30~35	7~8	—	0.0015~0.003	588~784	44~59	137~196	(29~49)×10 ⁻⁵	
2	电容器介质瓷									
2.1	高钛氧瓷	15~25	60~160	10 ¹⁰ ~10 ¹¹	—	390~980	20~49	98~127	(19~39)×10 ⁻⁵	作电容器的电介质
2.2	钛酸镁瓷	15~30	10~20	—	0.001	588~784	39~49	88~118	(19~24)×10 ⁻⁵	

(续)

序号	类别	厚度 (mm)	密度 (g·cm ⁻³)	透气度 (mL·min ⁻¹)	纵向断裂 长度/km	导电质点 (个·m ⁻²)	tanδ/10 ⁻³	交流击穿 电压/V	应用范围
5.3	B-I型	8	1.2	0.9~3	8~9.4	40~800	1.6~2	310~430	用作电容 器电介质
		10	1.2	0.5~3	7.5~10	50~400	≤2	350~450	
		12	1.2	0.7~3	7~9.5	30~200	≤2	380~570	
		15	1.2	0.2~2	7~8.5	10~100	1.8~2	430~600	
5.4	BD-I型	10	1.0	≤7	≥7	≤300	≤1.4	≥300	
		12	1.0	0.7~5	7~8.7	10~150	1.2~1.4	325~540	
		15	1.0	≤5	≥7	≤80	≤1.4	≥430	
5.5	BD-I型	8	1.2	≤3	≥8	≤800	≤2	≥310	
		10	1.2	0.6~3	7.5~8.4	30~400	≤2	350~500	
		12	1.2	≤2	≥7	≤200	≤2	≥380	
		15	1.2	≤2	≥7	≤100	≤2	≥430	
5.6	BD-0型	15	0.8	1~5	7~8	8~50	≤1.1	380~490	

10. 部分绝缘漆的主要性能及应用范围 如表 JC10-19 所示。

表 JC10-19 部分绝缘漆的主要性能及应用范围

序号	类别	粘度 ^① /s	干燥时间 /h	热弹性 /h	介电强度/ (kV·mm ⁻¹)			体积电阻率/(Ω·m) 或表面电阻率/Ω ^②			应用范围	
					常态	热态	浸水后 ^③	常态	热态	浸水后 ^③		
1	浸渍漆											
1.1	有溶剂漆	三聚氰胺 醇酸漆 (1032)	30~60 (20℃)	1.5~2 (105℃)	≥30 (150℃)	70~ 95	—	40~ 55	体积~ ≥10 ¹²	体积~ ≥10 ⁸	体积~ ≥10 ¹⁰	主要用于浸 渍电机、电器 线圈绝缘,以 填充间隙和微 孔,使被浸物 表面形成连续 的漆膜,提高 绝缘结构的电 气性能、导热 性和防潮性
1.2		有机硅 浸渍漆 (1053)	30~65 (20℃)	1.5~2 (200℃)	≥200 (200℃)	65~ 100	—	40~90 (受潮)	体积~ 10 ¹² ~ 10 ¹³	体积~ 10 ⁹ ~ 10 ¹²	体积~ 10 ¹⁰ ~ 10 ¹²	
1.3		聚酰亚胺 浸渍漆 (PAI-Z)	50~90 (20℃)	1/6 (180℃)	≥200 (200℃)	90~ 110	—	70~90 (受潮)	体积~ 10 ¹² ~ 10 ¹³	体积~ 10 ¹¹ ~ 10 ¹²	体积~ 10 ¹¹ ~ 10 ¹²	
1.4	无溶剂漆	桐马 环氧漆	25~35 (25℃)	2(120℃) +3(150℃)	— ≥26	—	—	体积~ ≥10 ¹⁴	体积~ 5×10 ¹⁰	体积~ 7.9×10 ¹³ (受潮)		
1.5		环氧 沉渍漆 (5152)	18~25 (25℃)	—	—	20~ 28	—	—	体积~ ≥10 ¹³	体积~ 10 ⁸ ~ 10 ¹⁰ (受潮)	体积~ 10 ¹¹ (受潮)	
1.6		环氧 滴渍漆 (J1132)	51~75 (25℃)	—	—	≥25	—	—	体积~ ≥10 ¹³	体积~ 10 ⁸ ~ 10 ¹⁰	体积~ 10 ¹² ~ 10 ¹³	

(续)

序号	类别	厚度 (mm)	密度 (g·cm ⁻³)	透气度 (mL·min ⁻¹)	抗张力/N		耐折度(次)		tanδ/10 ⁻³		水分 (%)	应用范围
					纵向	横向	常态	热态	干纸	油纸		
2.1	高压 电缆 纸	GDL-045	0.045	0.85	0.7~25	52~63	22~28	1300~1800	1040~1700	1~2.3	3	用作高压 电缆及其它 电器绝缘
2.2		GDL-075	0.075	0.85	7~25	88~98	41~49	1500~2300	1200~1600	1.3~2.3	3	
2.3		GDL-125	0.125	0.85	8~20	137~152	64~74	2500	2000	1.4~2.3	3	
2.4		GDL-175	0.175	0.85	12~20	172~216	83~98	3000	2400	1.5~2.3	3	
3.1	电 话 纸	DH-50	0.050	0.7~0.82	—	54~60	24~25	≥500	—	—	—	用作电话 电缆绝缘及 云母制品的 补强材料
3.2		DH-75	0.075	0.74~0.82	—	71~89	29~38	≥500	—	—	—	
4.1	合 成 纤 维 纸	聚脂 纤维纸	0.08~0.09	—	—	12~18	12~18	伸长率 (%)	收缩率 (%)	体积电阻率 (Ω·m)	介电强度 (kV·mm ⁻¹)	用作电机 和变压器绝 缘
4.2			聚芳腈 胺纤维 纸	0.08~0.09	—	—	≥39	≥20	≥5	≤2	10 ¹³		14
4.3		聚芳腈 胺纤维 纸		0.15	—	—	94	73	—	≤2	10 ¹¹		22
4.4			噁二唑 纤维纸	0.16	—	—	105	75	—	1	10 ¹³		20
5.1	电 容 器 纸	A-I型	4	1.2	0.4~15	纵向断裂 长度/km	导电质点 (个·m ⁻²)		tanδ/10 ⁻³ (60℃)	交流击穿 电压/V	用作电容 器电介质	
						8~10	1000~2000	1.4~2				220~280
			6	1.2	0.4~8	8.5~10	300~1000	1.5~2	270~330			
			8	1.2	0.3~3	8~9.2	20~500	1.6~2	310~470			
			10	1.2	0.3~3	7.5~9.7	20~250	1.7~2	350~550			
5.2	B-I型	10	1.0	0.5~7	7~9.6	30~300	1.5~1.7	300~450				
		12	1.0	0.1~5	7~9.3	10~150	≤1.7	325~470				
		15	1.0	0.3~5	7~8.7	≤80	≤1.7	350~500				

(续)

序号	类别	介电强度 (kV·mm ⁻¹)	相对介电常数	体积电阻率 (Ω·m)	tanδ (50Hz)	强度/MPa			抗冲击强度 (J·cm ⁻²)	应用范围
						抗压	抗张	抗弯		
3	电热高温瓷									
3.1	堇青石瓷 (致密性)	5~20	4~5	10 ⁹ ~10 ¹²	0.02	390~ 588	20~ 29	44~ 64	—	作电炉盘、 电热设备绝缘 及开关灭弧罩 等
3.2	锆英石瓷	20~25	8~10	—	—	784~ 882	69~ 78	157~ 196	—	

8. 部分电工玻璃的主要性能及应用范围 如表 JC10-17 所示。

表 JC10-17 部分电工玻璃的主要性能及应用范围

序号	类别		介电强度 (kV·mm ⁻¹)	相对介电常数 (1MHz)	体积电阻率 (Ω·m)		介质损耗角正切 tanδ			抗弯强度 /MPa	应用范围
					20℃	200℃	50~60Hz	1kHz	1MHz		
1	钠-钙-硅 玻璃 (G-100)	退火 (110)	25	6.5~7.6	10 ¹⁰	10 ⁵	0.03	0.02	0.01	30	电工玻璃含碱一般在0.5%以下,可称“无碱玻璃”,广泛用于电工、电子、机械、航空等工业作玻璃结构的绝缘制品
		钢化 (120)	25	7.3~7.6	10 ¹⁰	10 ⁵	0.06	0.06	0.06	150	
2	硼硅酸盐化学 玻璃(G-200)		30	4~5.5	10 ¹²	10 ⁷	0.02	0.01	0.01	30	
3	硼硅酸盐 绝缘玻璃 (G-300)	低压 (310)	30	4.9~5.5	10 ¹²	10 ⁸	0.0035	0.0025	0.002	30	
		高压 (320)	30	5~6	10 ¹²	10 ⁸	0.03	0.012	0.008	30	
4	铝-钙-硅 玻璃(G-400)		30	5.5~7.5	10 ¹²	10 ¹⁰	0.0025	0.0025	0.003	40	
5	氧化铝-钠-硅 玻璃(G-500)		—	6~8	10 ¹⁵	10 ⁶	0.003	0.0025	0.002	30	
6	氧化钡-钠-硅 玻璃(G-600)		—	6.5~7.5	10 ¹²	10 ⁸	0.004	—	0.0025	30	

9. 部分绝缘纸的主要性能及应用范围 如表 JC10-18 所示。表中“tanδ/10⁻³”表示 tanδ 值应为表列数字×10⁻³。

表 JC10-18 部分绝缘纸的主要性能及应用范围

序号	类别	厚度 (mm)	密度 (g·cm ⁻³)	透气度 (mL·min ⁻¹)	抗张力/N		耐折度(次)		tanδ/10 ⁻³		水分 (%)	应用范围
					纵向	横向	常态	热态	干纸	油纸		
1.1	低压 电缆纸	DLZ-08	0.08	0.7~ 0.82	19~25	≥88	≥44	≥1000	—	—	—	6~9
1.2		DLZ-12	0.12	0.7~ 0.86	18~25	156~ 176	68~ 78	2000 ~3000	—	—	—	6~9
1.3		DLZ-17	0.17	0.7~ 0.85	20~25	216~ 274	≥107	2000~ 3000	—	—	—	6~9

(续)

序号	类别	粘度 ^① /s	干燥时间 /h	热弹性 /h	介电强度/ (kV·mm ⁻¹)			体积电阻率/(Ω·m) 或表面电阻率/Ω ^③			应用范围	
					常态	热态	浸水后 ^②	常态	热态	浸水后 ^②		
1.7	无溶剂漆	不饱和聚酯漆 (1141)	154 (25℃)	—	—	≥24	—	—	体积~ ≥10 ¹⁴	体积~ ≥10 ¹²	体积~ ≥10 ¹⁴ (受潮)	主要用于浸渍电机、电器线圈绝缘,以填充间隙和微孔,使被浸物表面形成连续的漆膜,提高绝缘结构的电气性能、导热性和防潮性
1.8		不饱和聚酯亚胺漆 (1143)	≤120 (25℃)	1.5~2.5 (120℃)	—	22~ 30	—	—	体积~ 10 ¹³ ~ 10 ¹⁴	体积~ 10 ⁹ ~ 10 ¹⁰	体积~ 10 ¹³ ~ 10 ¹⁴	
1.9		不饱和聚酯亚胺环氧酯漆 (E1U)	20~51 (25℃)	—	—	22~ 52	—	—	体积~ 10 ¹² ~ 10 ¹⁴	体积~ ≥10 ⁸	体积~ 10 ¹² ~ 10 ¹³	
2	覆层漆											
2.1	晾干环氧酯瓷漆 (9120)	50~70 (20℃)	≤24 (25℃)	≥6 (150℃)	30~ 60	—	8~20	—	—	—	—	主要用于涂覆绝缘部件和电机、电器的表面,有固结、防护和防潮功能
2.2	环氧酯灰瓷漆 (163)	60~240 (20℃)	≤2 (120℃)	10~20 (150℃)	35~ 45	—	10~ 20	表面~ ≥10 ¹³	—	表面~ ≥10 ¹¹		
2.3	晾干环氧酯灰瓷漆 (164)	120~420 (20℃)	≤24 (25℃)	1~5 (150℃)	≥30	—	≥10	表面~ ≥10 ¹¹	—	表面~ ≥10 ⁹		
2.4	晾干有机硅红瓷漆 (167)	≥40 (20℃)	≤24 (25℃)	≥80 (150℃)	≥30	—	≥10 (受潮)	表面~ ≥10 ¹²	—	表面~ ≥10 ¹⁰ (受潮)		
2.5	有机硅瓷漆 (1350)	40~80 (20℃)	<2 (120℃)	≥80 (150℃)	≥40	≥16	≥16	表面~ ≥10 ¹³	表面~ ≥10 ¹⁰	表面~ ≥10 ¹¹		
3	硅钢片漆											
3.1	油性漆 (1611)	≥70 (20℃)	12min (210℃)	—	—	—	—	体积~ 10 ¹¹ ~ 10 ¹³	—	—	主要用于硅钢片表面涂覆绝缘,有减小铁心涡流损耗功能	
3.2	环氧酚醛漆 (H52-1)	50~80 (20℃)	15~40min (180℃)	≥50 (180℃)	50~ 90	—	—	体积~ 10 ¹² ~ 10 ¹³	体积~ 10 ⁹ ~ 10 ¹⁰	—		
3.3	聚酰胺酰亚胺漆 (PAI-Q)	30~50 (20℃)	10min (150℃)	200 (200℃)	80~ 110	—	—	体积~ 10 ¹² ~ 10 ¹³	—	—		

- ① 粘度:采用4号杯式粘度计测量粘度值在10~110s范围内的绝缘漆;当漆的粘度大于110s时,则采用5号或6号粘度计。粘度以漆样从粘度计底部的漏嘴孔流出来直至中断所需的时间秒数来度量。
- ② 浸水后:指在(20±5)℃的水中浸泡24h后。
- ③ 此栏中“体积”和“表面”后的~代表“电阻率”。

11. 部分绝缘胶的主要性能及应用范围 如表 JC10-20 所示。

表 JC10-20 部分绝缘胶的主要性能及应用范围

序号	类别	固化条件 ℃	马丁温度 ℃	抗弯强度 MPa	抗冲击强度 (J·cm ⁻²)	介电强度 (kV·mm ⁻¹)	电阻率 ^①	应用范围
1.1	挠性胶	常温	30	29~39	0.176~0.245	35	表面~ 9×10 ¹¹ Ω	用于浇铸或包封电机、电器、电缆头、电子元件等
1.2	环氧胶 中交联度胶	100~120	80~85	—	0.38~0.42	36	表面~ 4.2×10 ¹² Ω	
1.3	中交联度胶 加石英粉	100~120	85~90	78~98	0.39~0.49	—	—	
1.4	高交联度胶	100~120	110~120	88~108	0.245~0.29	40	表面~ 4×10 ¹² Ω	
2.1	环氧胶 户内胶	130	87	109~131	2.25	35.5	体积~ 10 ¹⁴ Ω·m	
2.2	户外胶	130	98	91	1.23	34.8	体积~ 7×10 ¹³ Ω·m	
2.3	耐开裂胶	130	89	144~169	1.8~2.4	36~38	体积~ 6×10 ¹³ Ω·m	
2.4	低粘度胶	120	77	118	6.8	28	体积~ 8×10 ¹³ Ω·m	
3.1	沥青胶 1810	常温	—	—	—	18	—	
3.2	1811	常温	—	—	—	14	—	

① 此栏中~代表“电阻率”。

12. 部分层压板的主要性能及应用范围 如表 JC10-21 所示。

表 JC10-21 部分层压板的主要性能及应用范围

序号	类别		抗弯强度 (垂直层 向最小 值) MPa	抗冲击强 度 (最小值) (kJ· cm ⁻²)	耐电压强 度(在 90℃ 变压器油 中垂直层 向最小值) (kV· mm ⁻¹) ^①	耐电压(在 90℃变压 器油中平 行层向最 小值) kV	绝缘电阻 (浸水后最 小值) Ω	介质损耗 角正切(浸 水后最大 值) (1MHz)	相对介电 常数(浸水 后最大值) (1MHz)	应用范围
	名称	型号								
1	酚醛纸板	PFCP4	75	—	9.3	25	10 ¹⁰	0.05	5.5	主要用于 电机、电器 的绝缘结构 上
		PFCP5	85	—	9.1	25	10 ⁹	0.05	6	
2	酚醛布板	PFCC2	90	7.8	—	15	10 ⁷	—	—	
		PFCC4	100	5.6	—	20	10 ⁸	—	—	
3	酚醛 玻璃布板		140	25	7.1	20	10 ⁸	—	—	
4	环氧 玻璃布板	EPGC1	840	37	12.1	35	5×10 ¹⁰	0.04	5.5	
		EPGC4	840	37	12.1	35	5×10 ¹⁰	0.04	5.5	

(续)

序号	类别		抗弯强度 (垂直层 向最小 值) MPa	抗冲击强 度 (最小值) (kJ· cm ⁻²)	耐电压强 度(在 90℃ 变压器油 中垂直层 向最小值) (kV· mm ⁻¹) ^①	耐电压(在 90℃变压 器油中平 行层向最 小值) kV	绝缘电阻 (浸水后最 小值) Ω	介质损耗 角正切(浸 水后最大 值) (1MHz)	相对介电 常数(浸水 后最大值) (1MHz)	应用范围
	名称	型号								
5	环氧酚醛 玻璃布板	3240	392	147	20	30	10 ⁹	0.03 ^③	—	主要用于 电机、电器 的绝缘结构 上
6	有机硅 玻璃布板	3251	108	49	10	—	10 ¹⁰	—	—	
7	二甲醚 玻璃布板		294	147	12 ^②	—	10 ¹¹	0.2	—	
8	聚酰亚胺 玻璃布板		176	—	30 ^②	—	10 ¹⁰	—	—	

① 试样厚度 2mm。

② 在空气中数值。

③ 常态下数值。

13. 部分层压管的主要性能及应用范围 如表 JC10-22 所示。

表 JC10-22 部分层压管的主要性能及应用范围

序号	类别		密度(内径 ≥13mm) g·cm ⁻³	压缩强度/MPa		垂直层向介电强度(最小) (kV·mm ⁻¹)					应用范围	
				内径/mm		内径 /mm	壁厚/mm					
				5~13	13~202		1~1.5	1.5~3	3~6	6~13		13~19
1	酚醛 层压 管	3527	≥1.12	≥68.9	≥82.7	5~202	16	13	8	5.9	4.8	主要用于 电机、电器 的绝缘结构 上
2		3528	≥1.12	≥68.9	≥89.6	13~202	16	11.6	8	5.8	4.8	
3		3529	≥1.12	≥68.9	≥89.6	6~202	9	10	10	—	—	
4	环氧酚醛 层压管 3640		≥1.70	≥137.9	≥139.9	6~200	14	10	8	6	—	

14. 部分热固性塑料的主要性能及应用范围 如表 JC10-23 所示。

表 JC10-23 部分热固性塑料的主要性能及应用范围

序号	类别	密度 g·cm ⁻³	抗弯强度 MPa	抗冲击 强度 J·cm ⁻²	表面 电阻率 Ω	体积 电阻率 Ω·m	介电强度 (kV· mm ⁻¹)	性能特点	应用范围
1	酚醛塑料 (4010)	1.4	59~88	0.6~0.9	10 ¹¹ ~10 ¹³	10 ⁸ ~10 ¹¹	10~15	俗称“电木”, 电绝缘性能好, 但较脆	可塑制电机、 电器、仪表等的 绝缘结构件
2	酚醛塑料 (4013)	1.5	69~89	0.6~0.9	10 ¹² ~10 ¹³	10 ⁹ ~10 ¹¹	13~16		

(续)

序号	类别	密度 $g \cdot cm^{-3}$	抗弯强度 MPa	抗冲击 强度 $J \cdot cm^{-2}$	表面 电阻率 Ω	体积 电阻率 $\Omega \cdot m$	介电强度 ($kV \cdot mm^{-1}$)	性能特点	应用范围
3	丁腈橡胶改性酚醛塑料(4511)	1.7	44~79	0.8~1.0	$10^{12} \sim 10^{13}$	$10^9 \sim 10^{11}$	13~15	俗称“电木”。电绝缘性能好,但较脆	可塑料电机、电器、仪表等的绝缘结构件
4	酚醛玻璃纤维塑料(4330)	1.9	≥ 245	15~23	$10^{12} \sim 10^{14}$	$10^{10} \sim 10^{12}$	13~19	机械强度较一般酚醛塑料大大提高	可塑料要求较高机械强度的绝缘构件
5	三聚氰胺甲醚玻璃纤维塑料(34)	2.0	118~196	≥ 9.8	$10^{11} \sim 10^{14}$	$10^9 \sim 10^{12}$	10~12	机械强度也较好	
6	三聚氰胺甲醚石棉塑料(4220)	1.75	44~71	≥ 0.5	$10^{11} \sim 10^{14}$	$10^8 \sim 10^{11}$	10~14		
7	聚酯料团(L-200)	1.9	118~245	7.8~20	$10^{12} \sim 10^{15}$	$10^{10} \sim 10^{12}$	8~12	塑料固化后尺寸稳定性好,抗弯强度高	可塑料耐高温绝缘构件
8	邻苯二甲酸二丙烯酯塑料(D-200)	1.7	49~78	≥ 0.5	$10^{12} \sim 10^{15}$	$10^{10} \sim 10^{13}$	≥ 12		
9	聚酰亚胺塑料	1.3	≥ 86	≥ 0.75	$\geq 10^{16}$	$\geq 10^{12}$	≥ 14	耐高温,耐辐射性好	

15. 部分热塑性塑料的主要性能及应用范围 如表 JC10-24 所示。

表 JC10-24 部分热塑性塑料的主要性能及应用范围

序号	类别	密度 $g \cdot cm^{-3}$	熔点 $^{\circ}C$	抗张强度 MPa	抗弯强度 MPa	抗冲击强度 $J \cdot cm^{-2}$	体积电阻率 $\Omega \cdot m$	介电强度 $kV \cdot mm^{-1}$	性能特点	应用范围	
1	聚苯乙烯	纯料	1.04~1.09	200	34~82	69~96	0.14~0.21	$10^{14} \sim 10^{15}$	20~28	无色透明,有优良的电气性能和耐化学性好,但质脆,易裂,易燃	可塑料电器、仪表外壳和绝缘结构件
		含玻璃纤维	1.2~1.3	—	75~103	103~127	1.31	$\geq 10^{14}$	14~17		
3	ABS	抗冲击型	1.02~1.04	217~237	34~43	51~79	5.19	$\geq 10^{14}$	13~18	呈象牙色,电气、机械和耐化学性均好,表面硬度较高	可塑料电器、仪表外壳和绝缘结构件
		耐热型	1.06~1.08	217~237	44~60	69~83	0.16~0.31	$\geq 10^{14}$	14~16		

(续)

序号	类别	密度 $g \cdot cm^{-3}$	熔点 $^{\circ}C$	抗张 强度 MPa	抗弯 强度 MPa	抗冲击 强度 $J \cdot cm^{-2}$	体积 电阻率 $\Omega \cdot m$	介电强度 $kV \cdot mm^{-1}$	性能特点	应用范围
5	聚甲基丙烯酸甲酯	1.17~ 1.2	>108	48~ 76	89~ 118	1.57	5×10^{14}	18~22	俗称“有机玻璃”,透明性好,耐磨性和耐溶剂性差	可塑制透明表壳及透镜
6	聚酰胺(尼龙)	1.04~ 1.09	200~ 210	44~ 54	76~ 87	9.8~ 48	$\geq 10^{12}$	15~24	俗称“尼龙”,耐磨性、韧性和耐水性好,但热变形温度低	可塑制电机、电器绝缘结构件
7		含玻璃纤维	1.23~ 1.3	—	68~ 176	108~ 304	5.9~ 9.8	$10^9 \sim 10^{13}$			18~29
8	聚碳酸酯	1.2	220~ 230	54~ 69	93~ 109	74~ 86.2	$\geq 10^{14}$	17~22	无色透明,机械强度高,热变形温度高,但耐磨性较差	可塑制电机、电器、仪表的绝缘结构件
9		含玻璃纤维	1.4~ 1.45	—	108~ 167	137~ 192	6.4	$\geq 10^{14}$			19~29
10	聚砜	1.24	343~ 360	71~ 83	106~ 124	16.7~ 36.3	$\geq 10^{14}$	16~20	呈琥珀色,耐热性、机电性均好,但耐溶剂性差	

16. 部分橡胶的主要性能及应用范围 如表 JC10-25 所示。

表 JC10-25 部分橡胶的主要性能及应用范围

序号	类别	密度 $g \cdot cm^{-3}$	脆化 温度 $^{\circ}C$	工作 温度 $^{\circ}C$	抗张 强度 ^① MPa	体积 电阻率 $\Omega \cdot m$	介电 强度 $kV \cdot mm^{-1}$	回 弹性	耐 阳光 性	耐 水性	阻 燃性	性能特点	应用范围
1	天然橡胶(NR)	0.92~ 0.96	-50~ -60	60~ 65	24~ 27	$10^{13} \sim 10^{14}$	≥ 20	优	差	优	差	电气机械性能好,但不耐油和溶剂,易燃,易老化	主要用作电线电缆绝缘和护层
2	丁苯橡胶(SBR)	0.94	-30~ -60	65~ 70	17~ 24	10^{13}	≥ 20	可	差	优	差	电气性能较好,但力学性能较差	可作 6kV 电缆绝缘
3	乙丙橡胶(EPDM)	0.86	-40~ -60	80~ 90	9.8~ 24	$10^{13} \sim 10^{14}$	30~ 40	可	优	优	差	电气性能及耐气候性、耐臭氧、耐老化性均好	主要用作船用电缆及电机、电器出线绝缘
4	丁基橡胶(IIR)	0.91	-40~ -55	80~ 85	9.8~ 20	$10^{14} \sim 10^{15}$	25~ 30	差	优	优	差	耐气候性、耐热性和耐电晕性均好	可作 35kV 电缆绝缘
5	氯丁橡胶(CR)	1.23~ 1.25	-35~ -55	70~ 80	21~ 24	$10^8 \sim 10^9$	10~ 20	良	优	良	良	阻燃性及耐气候性、耐溶剂性均好	主要用作电线电缆护层材料

92B

非电工工程师手册

(续)

序号	类别	密度 $g \cdot cm^{-3}$	脆化 温度 °C	工作 温度 °C	抗张 强度 ^① MPa	体积 电阻率 $\Omega \cdot m$	介电 强度 $kV \cdot mm^{-1}$	回 弹 性	耐 阳 光 性	耐 水 性	阻 燃 性	性能特点	应用范围
6	丁腈橡胶 (NBR)	0.96~ 1.02	-15~ -40	80~ 85	15~ 30	10^8	15~ 20	可	差	良	差	耐气候性、耐油性及耐溶剂性均好	适于作油井电缆保护层材料
7	氯磺化 聚乙烯	1.12~ 1.28	-40~ -60	90~ 105	≥ 21	10^{12}	15~ 20	可	优	良	良	热稳定性优于IIR,其它性能优于CR	主要用作船用和机车、电焊机 等电缆护层
8	硅橡胶	0.97	-70~ -115	180~ 200	≥ 7	10^{10} ~ 10^{11}	20~ 30	劣-良	优	优	可-优	电气性能及耐热性优异,但力学性能较差	主要用作船用电缆、控制电缆等绝缘
9	氟橡胶		-34~ -45	200	≥ 14	10^{10} ~ 10^{11}	20~ 25	可	优	优	良	耐热性和电气性能优异,但力学性能较差	用作特殊用途的电线电缆护层

① “抗张强度”栏内除硅橡胶为“不加补强剂”的数据外,其余均为“加补强剂”的数据。

主要参考文献

- 1 机械工程手册 电机工程手册编委会编. 电气工程师手册. 北京:机械工业出版社,1987
- 2 机械工程手册. 电机工程手册编委会编. 电机工程手册第2卷. 北京:机械工业出版社,1982
- 3 中国大百科全书电工编委会编. 中国大百科全书电工卷. 北京、上海:中国大百科全书出版社,1992
- 4 辞海编委会编. 辞海. 上海:上海辞书出版社,1989
- 5 贺天枢,赵叔玉主编. IEC 电工电子标准术语词典. 北京:中国标准出版社,1992
- 6 刘介才编. 电工产品学(讲义),1985

十一、电机和电器基础 (JC11)

(一) 常用的电机和电器名词术语

供电技术中较常用的电机和电器名词术语, 如表 JC11-1 所示。

表 JC11-1 常用的电机和电器名词术语

序号	名词术语	含义说明
1	电机 electric machine	<p>①指将电能转换成机械能, 或将机械能转换成电能的电能转换器 (据 GB/T 2900.1—92)</p> <p>②指依靠电磁感应而运行的电气装置, 它具有能够作相对运动的部件, 用于转变能量。本术语也适用于原理相同, 结构类似, 作其它用途 (例如调节电压、电流、频率用) 的电气装置, 但不适用于静止电气装置 (据 GB2900.25—82)</p> <p>③指实现机械能与电能之间的转换以及变换电能的机械, 包括变压器和旋转电机两大类。通常以电磁感应现象为基础, 但也有利用静电、压电效应等构成的电机 (据《中国大百科全书》电工卷, 1992)</p> <p>一般取以上③对“电机”的定义</p>
2	电器 electrical appliance	<p>①泛指所有用电的器具, 主要包括用于对电路进行接通、分断, 对电路参数进行变换, 以实现对电路或用电设备的控制、调节、切换、检测和保护等作用的电工装置、设备和元件。按中国电工行业的习惯, 电机 (包括变压器) 属生产和变换电能的机械, 不包括在电器之列 (据《中国大百科全书》电工卷, 1992)</p> <p>②泛指除旋转电机以外的所有电气设备, 包括变换电能的变压器和互感器在内 (按序号 1 中①②对“电机”的定义推论)</p> <p>一般取以上①对“电器”的定义</p>
3	发电机 electric generator	指将机械能转换成电能的电机。产生直流电压和电流的发电机, 则称为“直流发电机”。产生交流电压和电流的发电机, 则称为“交流发电机”
4	电动机 electric motor	指将电能转换成机械能的电机。依靠直流电源运行的电动机, 则称为“直流电动机”。依靠交流电源运行的电动机, 则称为“交流电动机”
5	电气装置 electric device	指利用电磁能来完成所要求功能的元件组合, 亦称“电气器件”
6	电气设备 electric equipment	指用于发电、变电、输电、配电或用电的所有设备, 例如电机、变压器、电器、测量仪表、保护装置、布线、系统和电气用具等
7	旋转电机 electric rotating machine	指具有能作相对旋转运动的部件、通过电磁感应来转换能量的电气装置。在不致引起混淆的情况下, 可简称“电机”
8	直流电机 direct current machine	指产生或应用直流电的电机。直流电机按能量转换关系分直流发电机和直流电动机两大类
9	交流电机 alternating current machine	指产生或应用交流电的电机。交流电机也分交流发电机和交流电动机两大类

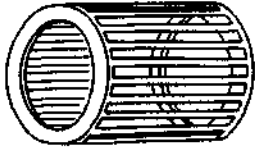
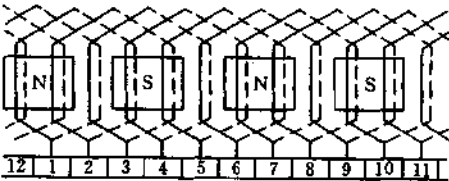
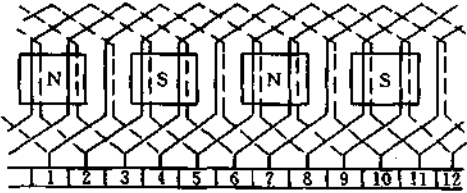
(续)

序号	名词术语	含义说明
10	同步电机 synchronous machine	①指其电动势频率与转速之比为恒定值的一种交流电机(据 GB 2900.25—82) ②指其转子转速与定子旋转磁场转速相同的一种交流电机。“同步”一词即因两转速相同而得(据《中国大百科全书》电工卷,1992)
11	异步电机 asynchronous machine	①指它负载时的转速与所接电网频率之比不是恒定值的一种交流电机(据 GB2900.25—82) ②指利用气隙旋转磁场与转子绕组中的感应电流相互作用产生电磁转矩,从而实现能量转换的一种交流电机。其转子转速与旋转磁场转速始终存在一定的差异,故称“异步”(据《中国大百科全书》电工卷,1992)
12	感应电机 induction machine	指异步电机的一种,其磁路匝链两个或两个以上相互之间有相对运动的电路,能量由静止部分通过电磁感应传递到运动部分,或由运动部分传递到静止部分。在不致引起误解或混淆的情况下,一般可称感应电机为“异步电机”(据 GB2900.25—82)
13	单相电机 single-phase machine	指产生或应用单相交流电的电机
14	多相电机 polyphase machine	指产生或应用多相交流电的电机。产生或应用三相交流电的电机,即称为“三相电机”
15	凸极电机 salient pole machine	指磁极从轭部向气隙方向凸出的电机
16	隐极电机 non-salient pole machine	指采用分布绕组、磁极不凸出的电机
17	水轮发电机 hydraulic turbine-driven synchronous generator	指一种由水轮机驱动同步发电机,这种发电机通常为凸极发电机
18	汽轮发电机 turbine-type generator	指一种由汽轮机驱动同步发电机,这种发电机通常为隐极发电机
19	励磁机 exciter	指一种供给另一电机所需的全部或部分励磁能量的发电机
20	笼型感应电动机 squirrel cage induction motor	指感应电动机的一种,定子绕组(初级绕组)连接于电源,而笼型转子(次级绕组)承载感应电流,曾称“鼠笼型电动机”
21	绕线转子感应电动机 wound-rotor induction motor	指感应电动机的一种,定子绕组(初级绕组)连接于电源,而在转子上的多相绕组(次级绕组)承载感应电流,简称“绕线型电动机”
22	罩极电动机 shaded pole motor	指单相感应电动机的一种,具有一个或多个辅助性短路绕组,这种绕组在磁场位置上相对于主绕组偏移一个角度。所有这些绕组通常都在定子铁心上

(续)

序号	名词术语	含义说明
23	分相电动机 split phase motor	指单相感应电动机的一种,具有一个辅助性初级绕组,该绕组在磁场位置上相对于主绕组偏移一个角度,并与主绕组相并联。两个绕组内的电流之间也存在相位差
24	电容电动机 capacitor motor	指分相电动机的一种,其电容器通常与初级辅助绕组串联
25	分马力电动机 fractional horsepower motor	指折算至1000r/min时连续额定功率不超过1马力(合736W)的小容量电动机注:马力是非法定计量单位
26	同步补偿机 synchronous compensator	指没有机械负载而只供给或吸收无功功率的同步电机,又称“同步调相机”
27	进相机 phase advancer	指向绕线转子感应电动机的次级绕组提供无功功率以改善该电动机功率因数的电机
28	变流机 converter	指将一种形式的电能变换为另一种形式的电能的电机,又称“变流器”
29	变频器 frequency convertor	指能传递电能并改变其频率的电机,又称“变频器”
30	电动发电机组 motor-generator set	指一台或多台电动机与一台或多台发电机机械耦合而成的成套机组
31	直流发电机—电动机组 DC generator-motor set	指包括一台或多台直流发电机及一台或多台驱动电动机的成套机组
32	绕组 winding	指电气设备中具有规定功能的一组线匝或线圈
33	线圈 coil	①指通常是同轴的一组串联的线匝 ②指由一组串联的线匝所构成的电气设备的零部件,亦称“绕组”
34	定子绕组 stator winding	指电机定子上的绕组。定子指[旋转]电机的静止部分
35	转子绕组 rotor winding	指电机转子上的绕组。转子指[旋转]电机的转动部分
36	电枢绕组 armature winding	指电机电枢上的绕组。电枢指同步电机或换向器电机中产生电动势并通过负载电流的部件
37	励磁绕组 excitation winding	指电机中产生磁场的绕组
38	并励绕组 shunt winding	指跨接在电机全部或部分主电路上的励磁绕组
39	串励绕组 series winding	指串联在电机主电路中,并通过全部或部分负载电流的励磁绕组
40	分布绕组 distributed winding	指其线圈在每一极上占用电机若干槽的绕组

(续)

序号	名词术语	含义说明
41	集中绕组 concentrated winding	①指其线圈边在每极下只占用电机一个槽的绕组 ②指凸极电机的励磁绕组
42	笼型绕组 cage winding	指两端由金属环或金属板连接起来的若干导条所构成的绕组,如图所示,应用极广的笼型电动机的转子绕组即为笼型绕组。笼型曾称“鼠笼型” 
43	叠绕组 lap winding	它通常为多极的分布绕组,其线圈的两个线端相互靠近,相串联的两个线圈处在磁场中相近的位置上,如图所示 
44	波绕组 wave winding	指分布绕组的一种,其线圈的两个线端位置相距约两个极距(注:“极距”指电机中相邻两磁极对应位置的两点之间的圆周距离)。相串联的两个线圈分别处在相隔约两个或更多的极距下,如图所示 
45	外特性 external characteristic	指在规定条件下,发电机的端电压 U 与负载电流 I (即电枢电流 I_a) 之间的关系,即 $U=f(I)$ 或 $U=f(I_a)$
46	机械特性 mechanical characteristic	指电动机在定子电压、频率和参数一定的条件下,转速 n 与其电磁转矩 M_{em} (或 T_{em}) 之间的关系,即 $n=f(M_{em})$ 或 $n=f(T_{em})$ 对异步电动机,机械特性也可表示为转差率 s 与电磁转矩 M_{em} (或 T_{em}) 之间的关系,即 $s=f(M_{em})$ 或 $s=f(T_{em})$
47	转差率 slip	指电动机同步转速与转子实际转速之差与同步转速之比(或百分值),符号“ s ”
48	变压器 transformer	①指传递电能而不改变其频率的静止的电能转换器(据 GB/T 2900.1-92) ②指根据电磁感应定律将交流电变换为同频率不同电压的交流电的非旋转式电机(据《中国大百科全书》电工卷,1992)

(续)

序号	名词术语	含义说明
49	电力变压器 power transformer	指具有两个或多个绕组,借助于电磁感应作用,以同样的频率将一个系统的交流电压和电流值变换为另一个系统的不同电压和电流值,借以输送电力电能的变压器
50	配电变压器 distribution transformer	指较小容量、由较高的电压降到最后一级配电电压、直接做配电用的电力变压器
51	油浸式变压器 oil-immersed transformer	指铁心和绕组均浸在绝缘油中的变压器
52	干式变压器 dry-type transformer	指铁心和绕组均不浸在绝缘液体中的变压器
53	无励磁调压变压器 transformer fitted with no-excitation tap-changer	指装有无载分接开关、能在变压器无电情况下进行电压调节的变压器,亦称“无载调压变压器”
54	有载调压变压器 transformer fitted with on-load tap-changer	指装有有载分接开关、能在带负载情况下进行电压调节的变压器
55	自耦变压器 auto-transformer	指至少有两个线圈具有公共部分(公共线圈)的变压器
56	互感器 instrument transformer	指用以传递信息,供给测量仪器、仪表和保护或控制装置的变压器,又称“仪用互感器”
57	电流互感器 current transformer (CT)	指在正常使用情况下,其二次电流与一次电流基本上成正比、而其相位差在连接方法正确时接近于零的互感器
58	电压互感器 potential (voltage) transformer (PT)	指在正常使用情况下,其二次电压与一次电压基本上成正比而其相位差在连接方法正确时接近于零的互感器
59	调压器 voltage regulator	指利用改变电磁感应的方法以达到调节电压目的的电气设备
60	电抗器 reactor	指由于具有电感而被电力系统使用的电器
61	消弧线圈 arc-suppression coil	指为补偿三相系统发生单相接地故障时线对地电容电流的单相中性点接地电抗器
62	电容器 capacitor	①指由于具有电容而被使用的电器 ②指用来向电路引进电容、电场储能或阻止直流但交流可以通过的电器,它由电介质和被隔开的两个电极构成
63	电力电容器 power capacitor	指用于电力网的电容器
64	并联电容器 shunt capacitor	指并联于电力网中,主要用于改善功率因数的电容器

(续)

序号	名词术语	含义说明
65	串联电容器 series capacitor	指串联于电力线路中、主要用于补偿线路中感抗的电容器
66	滤波电容器 filter capacitor	指用于消除或减少电路中某些谐波电流的电容器
67	配电电器 distributing apparatus	指主要用于配电电路、对电路及设备进行保护以及通断、转换电源或负载的电器
68	控制电器 control apparatus	指主要用于控制受电设备,使其达到预期要求的工作状态的电器
69	控制设备 controlgear	指主要用来控制受电设备的开关电器,也泛指这些开关电器和与其相关联的控制、测量、保护及调节设备的组合体
70	开关电器 switching device	指用于接通或分断一个或几个电路电流的电器
71	开关设备 switchgear	指主要用于与发电、输电、配电和电能转换有关的开关电器,也泛指这些开关电器和与其相关联的控制、测量、保护及调节设备的组合体
72	配电装置 electrical installation	指由母线、开关设备、保护电器、测量仪表和其它附属设备等组成,用来接受和分配电能的电气装置。它装在发电厂、变配电所或企业的用电场所。按装设地点分,有屋内式和屋外式。按装置方式分,有成套式和装配式
73	隔离开关 switch-disconnector	①指在断开位置上,具有符合规定的隔离功能要求的一种机械开关。它能承载正常电路条件下的电流,并能在一个规定的时间内承载非正常条件下的电流(例如短路电流)。如需分断或接通的电流非常小、或者在分断或接通电流时隔离开关每个极的两端之间的电压不发生显著变化,它也可用来断开或闭合电路。此定义对一般“隔离器”(isolator)都是适用的(据 GB/T 2900.18—92 及《IEC 电工电子标准术语词典》) ②指一种没有设置专门灭弧装置的开关电器。在分闸位置时有明显可见的断口,以便检修人员能清晰判断隔离开关处于分闸位置,达到安全操作和安全检修的目的(据《中国大百科全书》电工卷,1992)
74	刀开关 knife switch	指带有刀形动触头,且其在闭合位置与底座上的静触头相啮合的开关
75	负荷开关 load switch	指能在正常工作状态下通、断负荷电流、励磁电流、充电电流和电容器组电流的开关电器,按使用电压分高压负荷开关和低压负荷开关两大类。①高压负荷开关:它装有简单的灭弧装置,能熄灭由于正常负荷电流和一定过负荷电流所产生的电弧,但不能熄灭短路电流所产生的电弧,因此它常与高压熔断器串联使用,利用熔断器来切断短路电流。②低压负荷开关:它是由一个或几个极的刀开关与熔断器串联所构成的能带负荷操作的“开关熔断器组”(switch-fuse),70年代以前普遍应用的胶盖开关和铁壳开关均属低压负荷开关
76	断路器 circuit-breaker	指能通、断正常负荷电流并能在规定的非正常(例如短路)条件下通、断故障电流的一种开关电器。在不致引起混淆时可称为“开关”

(续)

序号	名词术语	含义说明
77	油断路器 oil circuit-breaker	指触头在绝缘油中断开和闭合的断路器,亦称“油开关”。它又分少油断路器和多油断路器两种。少油断路器的油仅作灭弧介质用,因此油量少,整个开关的外形尺寸也小。多油断路器的油除作灭弧介质外,且作相间及相对地间的绝缘介质用,因此油量多,整个开关的外形尺寸也较大
78	六氟化硫(SF ₆)断路器 SF ₆ circuit-breaker	指触头在六氟化硫(SF ₆)中断开和闭合的一种断路器
79	空气断路器 air circuit-breaker	指触头在大气压下的空气中断开和闭合的一种断路器,亦称“空气开关”
80	真空断路器 vacuum circuit-breaker	指触头在高度真空中断开和闭合的一种断路器,亦称“真空开关”
81	低压断路器 low-voltage circuit-breaker	指用于低压电网中的一类断路器,曾称“低压自动开关”,亦称“低压自动空气断路器”或“低压空气开关”
82	万能式[低压]断路器 conventional circuit-breaker	指以具有绝缘衬垫的框架结构为底座,将所有构件组成一整体并具有多种结构变化方式和用途的[低压]断路器,曾称“框架式[低压]自动开关”
83	塑料外壳式[低压]断路器 moulded case circuit-breaker	指用一个以模压绝缘材料制成的外壳将所有构件组装成一个整体的[低压]断路器,曾称“装置式[低压]自动开关”
84	接触器 contactor	指仅有一个起动位置(亦即一个休止位置),能接通、承载和分断正常电路条件(包括过载运行条件)下的电流的一种非手动操作的机械开关电器。其中一种由电磁铁产生的力来带动主触头闭合或断开的接触器,称为“电磁接触器”
85	起动器 starter	指起动与停止电动机所需的所有开关电器与适当的过载保护电器相结合的组合电器。其中一种由电磁接触器和过载保护元件等组合成的起动器,称为“电磁起动器”
86	继电器 relay	指在输入量(激励量)的变化达到规定要求时,在电气输出电路中,被控量发生预定阶跃变化的一种自动器件。输入量(激励量)为电气量的继电器,则称为“电气继电器”
87	测量继电器 measuring relay	指在规定条件下,当具有规定准确度的输入特性量达到动作值时,电气输出电路发生预定阶跃变化的电气继电器。又称“量度继电器”,曾称“基本继电器”
88	有或无继电器 all-or-nothing relay	指在规定条件下,预定由高于动作值或低于释放值的电气量激励的电气继电器。曾称“逻辑运算继电器”
89	保护继电器 protective relay	指反应被保护对象的异常情况,按预定要求动作,以发出警报信号或切除故障的一种继电器
90	控制继电器 control relay	指用于控制、操作电路或传递信息的继电器。它可以与其它继电器或元器件相结合组成自动控制装置
91	熔断器 fuse	指当电流超过规定值一定时间后,通过熔断特殊设计的部件(熔体),断开其所接入的电路并分断电源的电器。熔断器包括组成完整电器的所有部件

(续)

序号	名词术语	含义说明
92	熔断体 fuse-link	指熔断器熔断后可以更换的熔断器部件,包括熔体在内
93	熔体 fuse-element	指熔断体中当电流大于规定值且超过规定时间时即行熔断的导体
94	避雷器 lightning arrester	指保护电气设备免受高的瞬态过电压的损坏,并限制续流的持续时间的电器件
95	绝缘子 insulator	①用来支撑导电体并使其绝缘的部件,②在有电位差的设备或导体上,作电气绝缘和机械固定用的器件
96	标称值 nominal value	指用以标志或识别元件、器件或设备的适当的近似量值
97	额定值 rated value	指由制造厂为元件、器件或设备在特定运行条件下所规定的量值。在工程中,额定值与标称值未严格区分。例如设备的标称电压即认为是其额定电压,均用 U_N 表示
98	额定容量 rated power	指电气设备在额定条件下输出的功率,又称“额定功率” ①对发电机,指额定条件下它输出的有功功率,常用单位为 kW 或 MW。也有用视在功率表示的,常用单位为 $kV \cdot A$ 或 $MV \cdot A$ ②对电动机,指额定条件下其轴上输出的机械功率(有功功率),常用单位为 W 或 kW ③对变压器,指额定条件下其二次绕组输出的视在功率,常用单位为 $kV \cdot A$ 或 $MV \cdot A$ ④对电容器,指额定条件下它输出的无功功率,常用单位为 var 或 kvar
99	负载,负荷 load	①指吸收功率的器件或用户 ②指电路或器件输出的功率
100	满载 full load	指电路或器件的由其额定运行条件所规定的最大负载值,又称“满负荷”
101	空载 no-load	指电路或器件在其它运行条件都正常的情况下,没有输出功率的状态,又称“无载”或“空负荷”
102	短路 short-circuit	指电路或器件在正常情况下处于不同电压下的两点或多点之间偶然或有意地接通相当低的电阻或阻抗所形成的联结
103	[开关电器的] 通断能力 make-break capacity [of a switching device]	指在规定的使用 and 性能条件下,开关电器在规定电压下接通和分断的预期电流
104	环境条件 environmental conditions	指可能影响电路或器件性能的环境特性,如海拔高度、温度、湿度、气压、辐射、振动等
105	使用条件 service conditions	指可能影响器件和设备运行的外界因素,如环境条件、电压变化等

(续)

序号	名词术语	含义说明
106	工况 operating conditions	指表征电机、电器或供电网络在指定时间的工作情况下的全部电气量和机械量
107	工作制 duty	指元件、器件或设备所承受的一系列运行条件,对电机,工作制就是对电机各种负载情况,包括空载、停机及其持续时间和先后次序等的说明
108	使用寿命 useful life	指电机、电器及电线电缆等在规定的条件下按额定条件持续运行直至损坏,或者其性能指标低于规定下限值时所经过的时间;对开关电器,则为直至损坏时所通断的操作次数(平均值)
109	标称电压 nominal voltage	指系统被指定的电压(据GB156—93《标准电压》定义),一般也称为“额定电压”
110	电气设备额定电压 rated voltage for equipment	指根据规定的电气设备工作条件,通常由制造厂确定的电压(据GB156—93《标准电压》定义),也有的称为“电气设备标称电压”
111	系统最高电压 highest voltage of a system	指系统正常运行时,在任何时间、系统中任何一点上所出现的电压最高值,不包括系统的暂态和异常电压(例如系统的操作所引起的暂态和瞬时的电压变化)(GB156—93定义)
112	设备最高电压 highest voltage for equipment	指考虑到设备的绝缘性能与最高电压有关的其它性能(如变压器的磁化电流及电容器的损耗)所确定的最高运行电压,其数值等于所在系统的系统最高电压值(GB156—93定义)
113	高压 high voltage	①通常指1000V以上的电压,但对电器是指交流1200V以上、直流1500V以上的电压 ②安全规程规定:对地电压250V以上者为高压(据DL408—91《电业安全工作规程》)
114	低压 low voltage	①通常指1000V及以下的电压,但对电器是指交流1200V及以下、直流1500V及以下的电压 ②安全规程规定:对地电压250V及以下者为低压(据DL408—91)

(二) 旋转电机概述

1. 旋转电机的结构特点及应用范围 如表 JC11-2 所示。

表 JC11-2 旋转电机的结构特点及应用范围

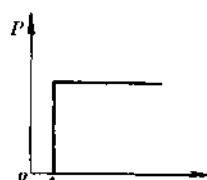
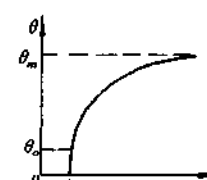
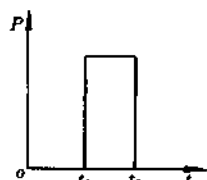
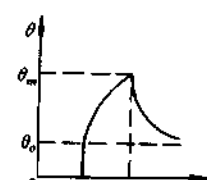
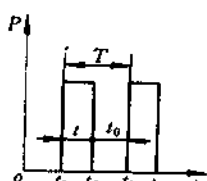
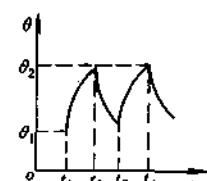
序号	类别	定子	转子	特点	应用范围
1	直流电机	包括主磁极及直流励磁绕组。其功能是建立励磁磁场	包括电枢铁心及电枢绕组。其功能是感生交流电动势,流过负载电流,借换向器和电刷的作用,使外电路的直流电与电枢绕组的交流电之间相互变换	①调速性能优良,调速方便、平滑、范围广 ②改变励磁方式可获得不同的运行特性 ③结构较复杂,维护工作量较大	常作电动机使用,以驱动需要平滑调速、或要求调速范围广、或要求起动转矩大的一些机械设备。有的作发电机使用,以供给直流

(续)

序号	类别	定子	转子	特点	应用范围	
2	交流电机	同步电机	包括电枢铁心及交流电枢绕组,其功能是感生交流电动势,流过负载电流,但有些小型的或特殊用途的同步电机,定子为磁极,其功能是建立励磁磁场	包括磁极及直流励磁绕组,其功能是建立励磁磁场,但有些小型的或特殊用途的同步电机,转子为电枢及电枢绕组,其功能是感生交流电动势,产生电流或转矩	转速严格按同步转速运行,电机转子的转速 n 与定子绕组中电流的频率 f 及电机的磁极对数 p 有下列关系 $n = \frac{60f}{p}$ 上式即为同步转速的公式。 f 的单位为赫(Hz), n 的单位为转/分(r/min)	常作发电机及调相机使用,各种交流发电设备几乎全部采用同步发电机;也可作电动机使用,主要用于驱动要求恒转速的大功率的机械设备
	异步电机	包括定子铁心及交流绕组,其功能是建立励磁磁场,同时感生交流电动势,流过励磁电流及负载电流	包括转子铁心及自成闭合回路的转子绕组,其功能是感生交流电动势,产生电流或转矩	①转速与同步转速间存在一定的差异 ②电机性能能满足一般机械的传动要求 ③结构简单,运行可靠,使用维护方便 ④调速性能差 ⑤要从电网吸收无功功率,功率因数较低	常作电动机使用,广泛用于驱动一般的机械设备	

2. 旋转电机的工作制及其负载特征 如表 JC11-3 所示。

表 JC11-3 旋转电机的工作制及其负载特性

序号	类别	负载曲线	发热曲线	说明
1	连续工作制			旋转电机的工作制取决于负载的要求。一般用途的电机按连续工作制考虑。电机以恒定负载运行时,其发热温度由环境温度 θ_0 升至 θ_m 后维持热稳定状态
2	短时工作时			短时工作的电机,未达到热稳定状态即停机和断电一段时间,使电机冷却到接近环境温度 θ_0 的状态。短时定额的时限规定优先采用10、30、60或90min
3	断续周期工作制			断续周期工作制又称“反复短时工作制”,工作周期时间规定为10min。为表征其负载工作特征,特引入“负载持续率”: $\epsilon = t / (t + t_0) = t / T$,一般用百分值表示

3. 旋转电机的型号编制 按 GB4831—84《电机产品型号编制方法》规定,除控制电机以外的各种类型旋转电机产品的型号编制如表 JC11-4 所示。

表 JC11-4 旋转电机的型号编制

序号	项目	说明																							
1	型号的组成格式	<p style="text-align: center;">[产品代号] - [规格代号] - [特殊环境代号] - [补充代号]</p> <p>注:在产品铭牌较小,而型号又较长的情况下,如各代号的数字和字母之间不会引起混淆时,可省去各代号之间的短划</p>																							
2	产品代号①	组成内容	由类型代号、特点代号、设计序号和励磁方式代号等四个小节顺序组成																						
		类型代号	<table border="1"> <tr> <td>Y</td> <td>T</td> <td>TF</td> <td>Z</td> <td>ZF</td> <td>QF</td> <td>SF</td> <td>C</td> <td>H</td> <td>Q</td> <td>F</td> </tr> <tr> <td>异步电动机</td> <td>同步电动机</td> <td>同步发电机(除汽轮发电机、水轮发电机)</td> <td>直流电动机</td> <td>直流发电机</td> <td>汽轮发电机</td> <td>水轮发电机</td> <td>测功机</td> <td>交流换向器电动机</td> <td>潜水电泵</td> <td>纺织用电动机</td> </tr> </table>	Y	T	TF	Z	ZF	QF	SF	C	H	Q	F	异步电动机	同步电动机	同步发电机(除汽轮发电机、水轮发电机)	直流电动机	直流发电机	汽轮发电机	水轮发电机	测功机	交流换向器电动机	潜水电泵	纺织用电动机
		Y	T	TF	Z	ZF	QF	SF	C	H	Q	F													
		异步电动机	同步电动机	同步发电机(除汽轮发电机、水轮发电机)	直流电动机	直流发电机	汽轮发电机	水轮发电机	测功机	交流换向器电动机	潜水电泵	纺织用电动机													
		特点代号	<table border="1"> <tr> <td>A</td> <td>B</td> <td>ZY</td> <td>...</td> </tr> <tr> <td>增安型防爆电机</td> <td>隔爆型防爆电机</td> <td>正压型防爆电机</td> <td>...</td> </tr> </table>	A	B	ZY	...	增安型防爆电机	隔爆型防爆电机	正压型防爆电机	...														
		A	B	ZY	...																				
增安型防爆电机	隔爆型防爆电机	正压型防爆电机	...																						
设计序号	用阿拉伯数字表示。第一次设计的产...注																								
励磁方式代号	<table border="1"> <tr> <td>S</td> <td>J</td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>3次谐波励磁</td> <td>晶闸管励磁</td> <td>相复励磁</td> </tr> </table> <p>注:不标设计序号时,则标于特点代号之后,并用短划分开</p>	S	J	X	3次谐波励磁	晶闸管励磁	相复励磁																		
S	J	X																							
3次谐波励磁	晶闸管励磁	相复励磁																							
组成内容	用电机中心高、铁心外径、机座号、机壳...伸直径...代号、机座长度、铁心长度、功率、电流等级、转速或极数等来表示(机座长度,S—...中机座,L—长机座)																								
3	规格代号	组成内容	用电机中心高、铁心外径、机座号、机壳...伸直径...代号、机座长度、铁心长度、功率、电流等级、转速或极数等来表示(机座长度,S—...中机座,L—长机座)																						
		类别	规格代号																						
		小型异步电动机	中心高(mm)-机座长度(字母代号)-铁心长度(数字代号)-极数																						
		大中型异步电动机	中心高(mm)-铁心长度(数字代号)-极数																						
		小型同步电机	中心高(mm)-机座长度(字母代号)-铁心长度(数字代号)-极数																						
		大中型同步电机	中心高(mm)-铁心长度(数字代号)-极数																						
		小型直流电机	中心高(mm)-机座长度(字母代号)																						
		中型直流电机	中心高(mm)或机座号(数字代号)-铁心长度(数字代号)-电流等级(数字代号)																						
		大型直流电机	电枢铁心外径(mm)-铁心长度(mm)																						
		汽轮发电机	功率(MW)-极数																						
		中小型水轮发电机	功率(kW)-极数/定子铁心外径(mm)																						
大型水轮发电机	功率(MW)-极数/定子铁心外径(mm)																								

(续)

序号	项 目		说 明						
3	规格代号	关于电机大中小型 的划分 (注释)	①关于大中小型交流电机的划分:小型指中心高为 80~315mm 或定子铁心外径为 100~500mm 的电机;中型指中心高为 355~630mm 或定子铁心外径为 500~1000mm 的电机;大型指定子铁心外径为 1000mm 以上的电机 ②关于大中小型直流电机的划分:小型指中心高为 400mm 及以下或电枢铁心外径为 368mm 及以下的电机;中型指电枢铁心外径为 368~990mm 的电机;大型指电枢铁心外径为 990mm 以上的电机 ③关于大中小型水轮发电机的划分:小型指功率为 1000kW 以下的电机;中型指功率为 1000~10000kW 的电机;大型指功率为 10000kW 以上的电机						
4	特殊环境代号	代号	G	H	W	F	T	TH	TA
		含义	“高” 原用	“船” (海)用	户“外”用	化工防 “腐”用	“热”带 用	“湿热” 带用	“干热” 带用
5	补充代号		这仅适用于有此需要的电机。补充代号用汉语拼音字母或阿拉伯数字表示,采用大写字母,应与序号 4 所采用的字母重复。补充代号所代表的内容,在产品标准中规定						
6	电机型号示例	小型异步电动机	$\begin{array}{l} \text{Y 112S-6} \\ \text{Y} \text{---} \text{规格代号, 表示中心高112mm, 短机座, 6极} \\ \text{112S} \text{---} \text{产品代号, 表示异步电动机} \end{array}$						
		中型异步电动机	$\begin{array}{l} \text{Y 500-2-4} \\ \text{Y} \text{---} \text{规格代号, 表示中心高500mm, 2号铁心长, 4极} \\ \text{500-2-4} \text{---} \text{产品代号, 表示异步电动机} \end{array}$						
		小型同步发电机	$\begin{array}{l} \text{TF3S 200M-4} \\ \text{TF3S} \text{---} \text{规格代号, 表示中心高200mm, 中机座, 4极} \\ \text{200M-4} \text{---} \text{产品代号, 表示第3次设计的3次谐波励磁同步发电机} \end{array}$						
		大型同步电动机	$\begin{array}{l} \text{T 900-2-12} \\ \text{T} \text{---} \text{规格代号, 表示中心高900mm, 2号铁心长, 12极} \\ \text{900-2-12} \text{---} \text{产品代号, 表示同步电动机} \end{array}$						
		大型水轮发电机	$\begin{array}{l} \text{SF 20-12/4250} \\ \text{SF} \text{---} \text{规格代号, 表示功率20MW, 12极, 定子铁心外径4250mm} \\ \text{20-12/4250} \text{---} \text{产品代号, 表示水轮发电机} \end{array}$						
		湿热带用小型直流电动机	$\begin{array}{l} \text{Z 132L-TH} \\ \text{Z} \text{---} \text{特殊环境代号, 表示湿热带} \\ \text{132L} \text{---} \text{规格代号, 表示中心高132mm, 长机座} \\ \text{TH} \text{---} \text{产品代号, 表示直流电动机} \end{array}$						

(续)

序号	项 目		说 明
6	电机型号示例	分马力异步电动机	<p>YS 71-1-4</p> <p>规格代号, 表示中心高71mm, 1号铁心长, 4极</p> <p>产品代号, 表示分马力异步电动机</p>
7	汽轮发电机产品代号	QF QFQ QFN QFSN QFSQ QFS QFR	全空冷汽轮发电机 全氢外冷汽轮发电机 氢内冷汽轮发电机 水氢内冷汽轮发电机 全水氢冷汽轮发电机 双水内冷汽轮发电机 燃气轮(汽轮)发电机
8	水轮发电机产品代号	SF SFW SFWG SFS SFSW SFD	水轮发电机 卧式水轮发电机 卧式水轮发电机(配贯流式水轮机) 水冷式水轮发电机 水冷卧式水轮发电机 水轮发电-电动机

① 各类型电机的主要产品代号在GB4831—84中另有详表, 本表序号7、8分别列出汽轮发电机和水轮发电机产品代号。

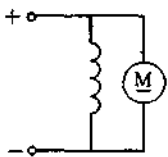
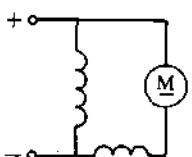
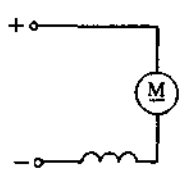
(三) 直流电机

1. 直流电动机的类型、特点及应用范围 如表JC11-5所示。

表 JC11-5 直流电动机的类型、特点及应用范围

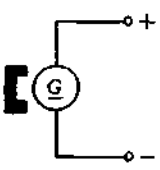
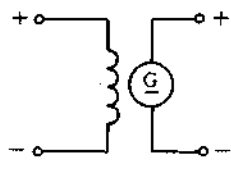
序号	类别	电 路 图	主要特点	应用范围
1	永磁直流电动机		①起动转矩一般约为额定转矩的2倍(也可制成为额定转矩的4~5倍) ②短时过载转矩一般约为额定转矩的1.5倍(也可制成为额定转矩的3.5~4倍) ③转速变化率为3%~15% ④有较好的调速特性, 调速范围较大	用于自动控制系统中作为执行元件及一般拖动动力用, 如力矩电动机
2	他励直流电动机		①起动转矩一般约为额定转矩的2~2.5倍 ②短时过载转矩一般约为额定转矩的1.5倍(带补偿绕组时, 可达额定转矩的2.5~2.8倍) ③转速变化率为5%~20%	用于起动转矩稍大的恒速负载及要求调速的拖动系统, 如离心泵、风机、金属切削机床、纺织印染、造纸和印刷机械等

(续)

序号	类别	电路图	主要特点	应用范围
3	并励直流电动机		④采用削弱磁场调速, 转速比可达1:2至1:4, 特殊设计可达1:8, 他励直流电动机, 可调节电枢电压, 调速范围更广	用于起动转矩稍大的恒速负载及要求调速的拖动系统, 如离心泵、风机、金属切削机床、纺织印染、造纸和印刷机械等
4	复励直流电动机		①起动转矩较大, 约可达额定转矩的4倍 ②短时过载转矩比并励电动机大, 约可达额定转矩的3.5倍 ③转速变化率由复励程度决定, 可达25%~30% ④采用削弱磁场调速, 调速范围可达额定转速的2倍	用于要求起动转矩较大、转速变化不大的负载, 如拖动空气压缩机、冶金辅助拖动机械等
5	串励直流电动机		①起动转矩很大, 可达额定转矩的5倍 ②短时过载转矩可达额定转矩的4倍左右 ③转速变化率很大, 空载转速极高, 因此不允许空载起动 ④用外接电阻与串励绕组串联或并联, 或将串励绕组串联或并联来实现调速, 调速范围较宽	用于要求很大起动转矩、转速允许有较大变化的负载, 如电车、电力拖动机车、起货机、起锚机等

2. 直流发电机的类型、特点及应用范围 如表JC11-6所示。

表 JC11-6 直流发电机的类型、特点及应用范围

序号	类别	电路图	主要特点	应用范围 ^①
1	永磁直流发电机		①电压变化率为1%~10% ②输出端电压与转速成线性关系	用作测速发电机及兆欧表、接地电阻测量仪等的内部电源
2	他励直流发电机		①电压变化率为5%~10% ②输出端电压随负载电流增加而降低 ③调节励磁电流, 可使输出端电压有较大幅度的变化	过去常用于电动机-发电机-电动机系统中, 实现直流电动机的恒转矩宽广调速

(续)

序号	类别	电路图	主要特点	应用范围 ^①	
3	并励直流发电机		①电压变化率为20%~40% ②输出端电压随负载电流增加而降低,降低的幅度较他励发电机大,其外特性(端电压与负载电流的关系曲线)较软	用作充电、电镀、电解、冶炼等的直流电源	
4	复励直流发电机 ^②	积复励		①电压变化率不超过6% ②输出端电压在负载变动时变化较小,即其外特性较硬	用作柴油发动机拖动的直流发电机等
		差复励		①电压变化率较大; ②输出端电压随负载电流增加而迅速下降,甚至可降至零	如用于直流焊机及自动控制系统中作执行直流电动机电源
5	串励直流电动机		①电压变化率很大 ②有负载时,才有输出端电压;输出电压随负载电流增大而上升	用于升压机	

① 由于晶闸管的出现和实用化,大功率半导体器件组成的变流装置因具有优异的技术经济性能而逐步取代了传统的变流装置(包括交流电动机-直流发电机-直流电动机系统),直流电动机可通过晶闸管变流装置直接从交流电网获得直流电源,因此直流发电机的应用范围日趋缩小,主要用作同步电机的励磁机及无交流电网供电而又需直流电源的场合。

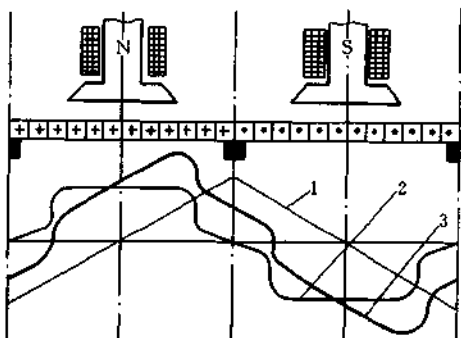
② 串励绕组与并励绕组的极性同向的,称为“积复励”;极性反向的,称为“差复励”。

3. 直流电机的基本结构、原理及有关概念 如表 JC11-7 所示。

表 JC11-7 直流电机的基本结构、原理及有关概念

序号	项目	说明
1	基本结构	
	定子	包括①机座及磁轭, ②主磁极铁心及线圈, ③换向磁极铁心及线圈, ④补偿绕组等
	转子(电枢)	包括①电枢铁心及绕组, ②转轴, ③风扇(有的不带), ④换向器等
	其它	包括①电刷装置, ②端盖、轴承座, ③接线端子盒等
2	工作原理	
	磁路	由定子磁轭、主磁极铁心、气隙和电枢铁心构成
	气隙磁场	由励磁绕组与电枢绕组的合成磁动势在定子与电枢间的气隙内形成
	发电机运行	电枢绕组旋转, 切割气隙磁场而感生出电枢电动势, 通过换向器和电刷发出直流电(根据“右手定则”)

(续)

序号	项目	说明
2	工作原理 电动机运行	通过电刷和换向器向电枢绕组送入直流, 载流的电枢绕组与气隙磁场相互作用而产生电磁转矩 (根据“左手定则”)
3	电枢电动势大小 (发电机运行)	<p>根据电磁感应定律 $e = Blv$, 可得电枢电动势 (V)</p> $E_a = \frac{N}{a} \frac{p}{60} n \Phi$ <p>式中, N 为电枢绕组导体根数; a 为电枢绕组支路对数, p 为定子磁极对数; n 为电机转速 (r/min); Φ 为每极磁通量 (Wb)</p>
4	转速大小 (电动机运行)	<p>在电枢绕组上加上电压 U_a 时, 其转速为</p> $n = \frac{U_a}{\frac{N}{a} \frac{p}{60} \Phi}$ <p>式中各物理量含义及单位与序号 3 相同, U_a 的单位为 V</p>
5	电磁转矩 (电动机运行)	<p>根据电磁力定律 $f = Bli$, 可得电磁转矩</p> $M_{em} = \frac{pN}{2\pi a} \Phi I_a$ <p>式中, I_a 为电枢电流 (A); M_{em} 为电磁转矩 (N·m); 其余符号意义同序号 3</p>
6	电枢反应	 <p>1—电枢磁动势近似分布曲线 2—空载时气隙磁场分布曲线 3—负载时气隙磁场分布曲线</p> <p>指电机带负载运行时, 电枢磁动势对励磁磁场的影响。如图所示, 空载时, 气隙磁场由励磁磁动势产生, 近似矩形波。负载时, 电枢电流所产生的电枢磁动势的分布曲线为阶梯形 (图上用直线近似表示), 气隙磁场则由电枢磁动势与励磁磁动势的合成磁动势产生, 从而产生畸变, 削弱磁场, 并使磁场的中性线位置偏移, 使换向器片间电位差升高。为了改善换向, 减小乃至消除火花, 必须采用补偿绕组或其它措施, 并调节电刷位置</p>

(四) 同步电机

1. 同步电机的类型、特点及应用范围 如表 JC11-8 所示。

表 JC11-8 同步电机的类型、特点及应用范围

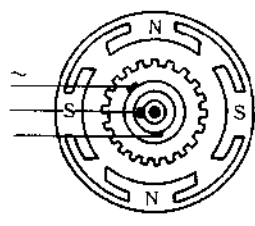
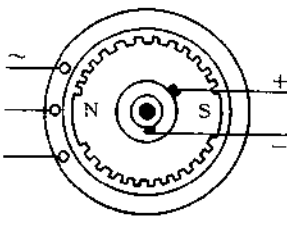
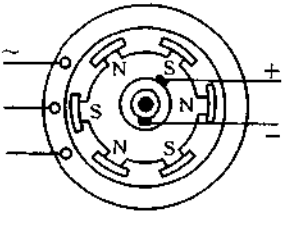
序号	类别	主要特点	应用范围
1	同步电机按磁路结构分类		
1.1	凸极式同步电机	①转子有显露的磁极 ②励磁绕组为集中绕组 ③转子的磁轭和磁极一般不是整体的	极对数 $p \geq 2$ 的同步发电机和电动机
1.2	隐极式同步电机	①转子是圆柱形的 ②励磁绕组为分布绕组 ③转子除小型的用叠片结构外, 一般都是整体的	极对数 $p \leq 2$ 的同步发电机和电动机
1.3	感应子式同步电机	①转子作成齿轮形, 一个转子齿距形成一对极 ②励磁绕组在定子上 ③可以作成单极式或多极式	中频发电机
1.4	爪极式同步电机	①凸极式的一种变型, 南、北极各一组, 作成爪状, 交错组合 ②公用一个或两个励磁绕组 ③励磁绕组一般在定子上	车辆用交流发电机, 中频发电机
1.5	反应式同步电机	①转子为凸极式, 但没有励磁绕组 ②靠定子(电枢绕组)旋转磁场的磁力推动转子同步转动	拖动及控制用小功率电动机
1.6	永磁式同步电机	①磁路的一部分用永磁体作成, 以永磁代替直流励磁 ②可以作成凸极式、感应子式或爪极式	小功率发电机及电动机
2	动力用同步电机按用途分类		
2.1	汽轮发电机	①电枢的长径比 (l/D) 较大, 一般 $l/D > 1$ ②转子通常为隐极式 ③卧式安装 ④容量在 750~600000kW 及以上, 电压为 0.4~27kV, 转速为 3000 或 1500r/min	火电站(含热电站)及核电站用
2.2	水轮发电机	①电枢的长径比 (l/D) 较小, 一般 $l/D < 1$ ②转子通常为凸极式 ③大容量多为立式安装, 小容量多为卧式安装 ④容量在 10~300000kW 及以上, 电压为 0.4~20kV, 转速为 50~1500r/min	水电站及抽水蓄能电站用
2.3	柴油发电机	①转子一般为凸极式, 小型也有隐极式的 ②卧式安装 ③容量一般为 10~3200kW, 电压有 0.23, 0.4, 6.3kV 等, 转速为 250~3000r/min	工矿企业、船舶及农村作自备电源或移动电源

(续)


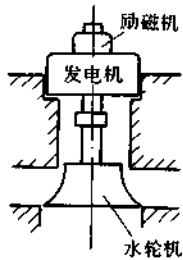

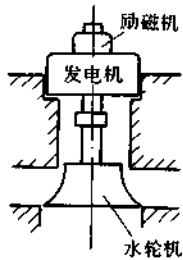

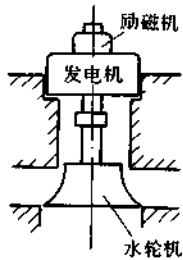
序号	类别	主要特点	应用范围
2.4	同步调相机	①转子一般为凸极式 ②卧式安装 ③专用于调节相位、改善功率因数 ④容量在 5000~60000kvar 及以上, 电压为 6.6 或 11kV, 转速为 750~1500r/min	用于改善电网的功率因数, 调整电网电压, 稳定接有波动负荷的供电母线电压
2.5	同步电动机	①二极的为隐极转子, 其余均为凸极转子 ②除拖动立式轴流系的为立式安装外, 一般均为卧式安装 ③容量在 250~10000kW 及以上, 电压为 3, 6 或 10kV, 转速为 187.5~3000r/min	拖动不要求调速而要求恒速的机械
2.6	中频发电机	①频率范围为 100~10000Hz ②500Hz 以下可以为凸极式或爪极式, 其余一般为感应子式 ③一般与电动机配组并装在一个机壳内, 组成变频器 ④容量为 2~1000kW, 电压有 0.115, 0.23, 0.375, 0.75, 1.5kV 等, 转速一般为 3000r/min	小功率的用作超高速电动机及雷达等的特种电源, 大功率的一般作为高频加热用电源

2. 同步电机的基本结构、原理及有关概念 如表 JC11-9 所示。

表 JC11-9 同步电机的基本结构、原理及有关概念

序号	项目	说明
1	基本结构 按结构形式分	旋转磁极式 如右图所示。只用于某些小型同步电机 
		隐极式 如右图所示。转子为圆柱形, 气隙均匀。汽轮发电机及少数大容量高速同步电动机作成隐极式 
		凸极式 如右图所示。转子上安有若干对凸出磁极, 气隙不均匀。水轮发电机和一般同步电动机、调相机均为凸极式 

(续)

序号	项目	说明																
1	基本结构	<table border="1"> <tr> <td>按安装形式分</td> <td> <p>卧式</p> <p>由汽轮机或柴油机拖动的发电机以及一般同步电动机调相机均为卧式</p>  </td> </tr> <tr> <td>立式</td> <td> <p>由水轮机拖动的发电机大多为立式，如右图所示。有些小型水轮发电机则采用卧式结构</p>  </td> </tr> </table>	按安装形式分	<p>卧式</p> <p>由汽轮机或柴油机拖动的发电机以及一般同步电动机调相机均为卧式</p> 	立式	<p>由水轮机拖动的发电机大多为立式，如右图所示。有些小型水轮发电机则采用卧式结构</p> 												
		按安装形式分	<p>卧式</p> <p>由汽轮机或柴油机拖动的发电机以及一般同步电动机调相机均为卧式</p> 															
立式	<p>由水轮机拖动的发电机大多为立式，如右图所示。有些小型水轮发电机则采用卧式结构</p> 																	
2	工作原理	<p>发电机运行</p> <p>直流电流经电刷、滑环通入转子励磁绕组，使转子产生恒定磁场，其磁力线从转子N极出来，经气隙到定子铁心，再经气隙，进入转子S极，构成一个闭合回路</p> <p>当转子由原动机拖动恒速旋转时，转子磁极的磁力线切割定子绕组导体而感生电动势。设转子转速为 n (r/min)，则定子绕组中感应电动势的频率 f (Hz) 为</p> $f = pn/60$ <p>我国的工业频率（工频）为 50Hz，因此 p 与 n 的关系为</p> <table border="1"> <tr> <td>极对数 p</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>...</td> </tr> <tr> <td>转速 n / (r · min⁻¹)</td> <td>3000</td> <td>1500</td> <td>1000</td> <td>750</td> <td>600</td> <td>500</td> <td>...</td> </tr> </table> <p>由于定子三相绕组互差 120° (电角)，因此感生的三相电动势也互差 120° (电角)，即</p> $e_A = E_m \sin \omega t$ $e_B = E_m \sin (\omega t - 120^\circ)$ $e_C = E_m \sin (\omega t - 240^\circ) = E_m \sin (\omega t + 120^\circ)$	极对数 p	1	2	3	4	5	6	...	转速 n / (r · min ⁻¹)	3000	1500	1000	750	600	500	...
		极对数 p	1	2	3	4	5	6	...									
转速 n / (r · min ⁻¹)	3000	1500	1000	750	600	500	...											
	电动机运行	<p>定子的三相绕组通入频率为 f (Hz) 的三相交流电流，就在气隙产生旋转磁场，其转速 n_s (r/min) 为</p> $n_s = 60f/p$ <p>此转速通常称为“同步转速”</p> <p>通过电刷、滑环对转子励磁绕组通入直流电流，使转子产生恒定磁场。定子旋转磁场与转子恒定磁场相互作用，在转子转速接近同步转速时，转子就会被定子旋转磁场拖入同步，可带动轴上的机械负载</p> <p>但必须注意：同步电动机仅在同步转速下才能产生恒定的电磁转矩。在转子处于静止状态时，这电磁转矩是交变的脉振转矩，其平均值为零，因此电动机不会自行起动，必须采取一些特殊的起动措施。最常用的方法，是“异步起动”法，即在同步电动机的主磁极极掌上嵌入类似异步电动机笼型绕组的阻尼绕组，利用此绕组产生的附加转矩来起动</p>																

(续)

序号	项目	说明		
3	电枢反应及高次谐波电动势	<p>①电枢反应指电机带负载运行时,电枢磁动势对磁极磁场的影响。电枢反应使电机气隙磁场波形发生畸变。由于气隙磁场波形畸变,因此导致电枢感应电动势的波形畸变,其中含有若干高次谐波</p> <p>②由于电机的磁极结构对称,因此定子(电枢)绕组感应电动势不含直流分量和偶次谐波分量</p> <p>③由于定子三相绕组对称,互差120°(电角),而3n次(n为正整数,下同)谐波分量为零序分量,因此三相绕组无论接成星形或三角形,其出线的电动势中均不会含3n次谐波分量。三相绕组接成星形时,不可能出现3n次谐波;而接成三角形时,3n次谐波电流就在三相绕组内形成环流,也不会出现在出线上。但三相绕组内形成环流的3n次谐波电流,会产生功率损耗,使绕组发热。因此一般发电机的三相绕组均采用星形联结</p> <p>④由于电机气隙的磁场分布不均匀(凸极式磁极的磁通分布近似矩形波,隐极式磁极的磁通分布为呈阶梯状变动的不平滑的正弦波),加之电机带负载时电枢反应的影响,因此定子绕组感应电动势中除含有基波外,还含有除3n次谐波以外的其它奇次谐波,其中影响较大的为5次和7次谐波</p> <p>⑤高次谐波分量的存在使发电机和线路的功率损耗增加,电机的噪声提高,而且容易导致线路出现过电压,并对邻近的通信线路产生干扰。因此发电机在设计制造中采取了一些措施对高次谐波进行抑制,使其发出的电动势波形畸变率达到国家标准规定的限值要求,确保电压质量</p>		
4	电抗及短路电流	同步电抗	直轴(同步电机磁极的中心线)的电枢反应电抗与定子漏电抗之和,称为“直轴同步电抗”,用 X_d 表示 交轴(同步电机极间的中心线)的电枢反应电抗与定子漏电抗之和,称为“交轴同步电抗”,用 X_q 表示	
		超瞬态电抗	同步电机在突然短路初瞬间($t=0$ 时)所呈现的直轴电抗,称为“直轴超瞬态电抗”或“直轴次暂态电抗”,用 X''_d 表示。这时所呈现的交轴电抗,称为“交轴超瞬态电抗”或“交轴次暂态电抗”,用 X''_q 表示	
		瞬态电抗	同步电抗在突然短路后阻尼绕组中电流衰减完毕时(无阻尼绕组电机即短路初瞬)所呈现的直轴和交轴电抗,分别称为“直轴瞬态电抗”(又称“直轴暂态电抗”)和“交轴瞬态电抗”(又称“交轴暂态电抗”),分别用 X'_d 和 X'_q 表示	
		正序电抗	当发电机转子正向旋转,励磁绕组短路时,电枢绕组通过正序电流(实际上就是三相负载平衡时的电枢电流)所遇到的电抗,称为“正序电抗”,用 X_1 表示,实际上就是上述的直轴同步电抗	
		负序电抗	当发电机转子正向旋转,励磁绕组短路时,电枢绕组通过负序电流所遇到的电抗,称为“负序电抗”,用 X_2 表示	
		零序电抗	当发电机转子正向旋转,励磁绕组短路时,电枢绕组通过零序电流所遇到的电抗,称为“零序电抗”,用 X_0 表示	
	短路形式	三相短路		
		两相短路		
单相短路				
短路形式		三相短路	两相短路	单相短路
短路电流分量	超瞬变	$I^{(3)} = \frac{E_p}{X''_d} = \frac{E}{\sqrt{3} X''_d}$	$I^{(2)} = \frac{\sqrt{3} E_p}{X''_d + X_2} = \frac{E}{X''_d + X_2}$	$I^{(1)} = \frac{3E_p}{X''_d + X_2 + X_0}$
	瞬变	$I^{(3)} = \frac{E_p}{X'_d} = \frac{E}{\sqrt{3} X'_d}$	$I^{(2)} = \frac{\sqrt{3} E_p}{X'_d + X_2} = \frac{E}{X'_d + X_2}$	$I^{(1)} = \frac{3E_p}{X'_d + X_2 + X_0}$
	稳态	$I^{(3)} = \frac{E_p}{X_d} = \frac{E}{\sqrt{3} X_d}$	$I^{(2)} = \frac{\sqrt{3} E_p}{X_d + X_2} = \frac{E}{X_d + X_2}$	$I^{(1)} = \frac{3E_p}{X_d + X_2 + X_0}$
	非周期	$i_{d,p,max}^{(3)} = \frac{\sqrt{2} E_p}{X''_d}$	$i_{d,p,max}^{(2)} = \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{3} E_p}{X''_d + X_2}$	$i_{d,p,max}^{(1)} = \frac{\sqrt{2} \cdot 3E_p}{X''_d + X_2 + X_0}$

(续)

序号	项目	说明
5	励磁系统的作用	励磁系统在电机正常运行时,供给电机所需的励磁电流,以维持一定的电压和一定的无功输出。在电力系统发生突然短路或突加、突甩负载时,能对电机强行励磁或强行减磁,以提高电力系统运行的稳定性和可靠性
	对同步发电机和调相机励磁的要求	①按主机负载情况自动调节励磁系统,使发电机的端电压符合要求,并输出一定的无功功率 ②最高电压和电压增长速度应符合要求 ③反应速度快(反应时间短) ④突甩负载时应应对主机强行减磁 ⑤并列运行时应使机组的无功功率分配合理 ⑥定子绕组出现匝间短路时进行灭磁
	对同步电动机励磁的要求	①对带重载起动及有自动再同步要求的电动机,在起动过程中,励磁绕组应经一电阻器短路(电阻值为励磁绕组电阻的7至10倍)。当转速达到95%同步转速时,将电阻器切除并投入励磁 ②为改善电网功率因数,励磁系统应按无功电流恒定或功率因数恒定进行调节 ③当电网电压降低或过载时应进行强行励磁 ④停机时,应自动进行灭磁
6	同步发电机的外特性	

(五) 异步电动机

1. 异步电动机的类型、特点及应用范围 如表 JC11-10 所示。

表 JC11-10 异步电动机的类型、特点及应用范围

序号	类别	主要特点	应用范围
1	按转子绕组型式分类		
1.1	笼型异步电动机(Y)	①笼型转子绕组本身自成闭合回路;②整个转子为一坚实整体,结构简单牢固;③起动电流倍数较大,起动转矩较小	应用最广,小型电动机中绝大多数为笼型
1.2	绕线型异步电动机(YR)	①转子回路通过电刷、滑环接入电阻,以改善起动特性,并在必要时用以调节转速;②结构较复杂,维修工作量增加;③起动电流倍数较小,起动转矩较大	主要用于功率较大及要求起动转矩较大、调速性能较好的场合
2	按相数分类		
2.1	单相异步电动机	①定子绕组为单相;②功率一般在1kW以下;③只需单相交流电源	作小型机械的动力或用于自控系统
2.2	三相异步电动机	①定子绕组为三相;②功率从几十瓦到几百千瓦;③需三相交流电源	作各种机械的动力,小型的亦可用于自控系统

(续)

序号	类别	主要特点	应用范围
3	按电动机尺寸分类		
3.1	大型电动机	中心高 $H > 630\text{mm}$ 定子铁心外径 $D > 1000\text{mm}$	用以驱动大型机械设备
3.2	中型电动机	中心高 $H = 355 \sim 630\text{mm}$ 定子铁心外径 $D = 500 \sim 1000\text{mm}$	用以驱动中型机械设备
3.3	小型电动机	中心高 $H = 80 \sim 315\text{mm}$ 定子铁心外径 $D = 100 \sim 500\text{mm}$	用以驱动小型机械设备
4	按电动机外壳防护等级 (IP) 分类 ^①		
4.1	开启式	防护等级为 IP11; ①属防护直径大于 50mm 固体侵入的电动机; ②属防滴电动机	用于环境正常、没有粉尘、没有水淋、没有腐蚀性气体的安全场所
4.2	防护式	防护等级为 IP22 或 IP23; ①属防护直径大于 12mm 固体侵入的电动机; ②属 15°防滴或防淋水的电动机	用于环境正常、没有粉尘、没有腐蚀性气体,但需防手指或工具伸入电机内部及防 15°水滴的场所
4.3	封闭式	防护等级为 IP44; ①属防护直径大于 1mm 固体侵入的电动机; ②属防溅水的电动机	用于可能有直径大于 1mm 固体侵入电机及需防溅水的场所
4.4	潜水式	防护等级为 IPX8; 电动机在制造厂规定的条件下能长期潜水。此种电动机称为“潜水电动机”	用于水下
5	按通风冷却方式分类		
5.1	自冷式	冷却介质在电动机内部循环,通过电动机外壳表面散热	常用于小功率电动机
5.2	自扇冷式	电动机轴上带有扇片,利用电动机旋转带动风扇,吸入周围空气散热	常用于一般环境下的开启式电动机
5.3	他扇冷式	利用外装风扇来为电动机散热,冷却介质即周围空气	用于某些防护式,封闭式电动机
5.4	管道通风式	冷却介质通过进口管道流入电动机,吸收热量后通过出口管道送至离电动机较远处。散热效果好	用于某些大、中型电动机
6	异步电动机的主要派生类别和专用产品		
6.1	防爆电动机 (YA, YB, YF)	YA 为增安型,运行中不产生火花,并提高了防固体异物和防水的防护等级。YB 为隔爆型,增强了外壳的机械强度,即使内部爆炸亦不致危及外部。YF 为充气型,阻止外界易爆气体进入电动机	主要用于石油、化工、煤矿等有爆炸危险的场所
6.2	起重及冶金用异步电动机 (YZ, YZR)	采用高电阻铝合金浇铸的笼型转子。起动转矩大,能频繁起动,过载能力大,转差率较高	用于冶金和一般起重设备
6.3	深井泵用异步电动机 (YLB)	立式,自扇冷,空心轴,泵轴穿过电机的空心轴在顶端以键相联,带有止逆装置,不允许逆转	电动机与长轴深井泵配套,用于深井提水

(续)

序号	类别	主要特点	应用范围
6.4	潜水异步电动机 (YQS, YQSY)	电动机受井径限制, 其外形细长。YQS 型内腔充满清水, 而 YQSY 型内腔充以绝缘油, 密封, 并有压力调节装置和保护装置	电动机分别与潜水泵或河流泵配套, 潜入井下或河水中, 用于提水灌溉
6.5	井用潜油异步电动机 (YQY)	电动机特别细长, 内腔充油密封。定子、转子铁心分为若干段, 定子各段之间用非导磁材料作为轴承支承面。绕组绝缘整体密封。机座为无缝钢管, 电动机与泵间有独立保护装置	电动机与深井油泵配套, 潜入石油井中, 用于直接提油
6.6	屏蔽异步电动机 (YP)	电动机较细长, 定子和转子分别用屏蔽套保护, 机座与接线盒间相互密封隔开。轴承为滑动式, 一般用石墨制成, 并以被输液的一部分作为冷却和润滑用。电动机与泵组合成一密封整体, 能在一定的压力和温度下保证无泄漏地输送液体	用于原子能、化工、石油等部门, 可以不泄漏地传送不含有颗粒的剧毒、易燃、放射性、腐蚀性液体
6.7	高转差率异步电动机 (YH)	结构和外形尺寸与基本系列相同, 只是转子采用高电阻铝合金浇铸, 具有较高的转差率 (约 8%~12%) 和较大的起动转矩 (约额定转矩的 2.2~2.5 倍)。机械特性较软	用于惯性矩较大并有冲击性负载机械的传动, 如剪床、压力机、锻压机及小型起重机等
6.8	力矩异步电动机 (YLJ)	机械特性很软。能在堵转到接近同步转速的范围内稳定运行, 转子导条采用高电阻黄铜条。一般装有独立的鼓风机	用于恒张力、恒线速 (卷绕) 传动和恒转矩 (导辊) 传动
6.9	电磁调速异步电动机 (YCT)	由异步电动机和电磁转差离合器组合而成, 通过控制器控制离合器的励磁电流来调节转速	用于恒转矩和风机类型设备的无级调速
6.10	齿轮调速异步电动机 (YCJ)	由通用的异步电动机与两级圆柱齿轮减速箱合成一体, 能稳定地输出低速大转矩	用于矿山、轧钢、造纸、化工等需要低速、大转矩的各种机械设备
6.11	变频多速异步电动机 (YD)	改变定子绕组的接线方法以改变磁极对数, 得到多种转速。结构和外形尺寸与基本系列相同, 但引出线数为 6~12 根	用于机床、印染机、印刷机等需要变速的设备
6.12	自制动异步电动机 (YEP, YEG, YEZ)	均带有断电制动的机构。YEP 为傍磁制动型, YEG 为杠杆制动型, YEZ 为锥形转子制动型	用于单梁吊车和机床进给系统等

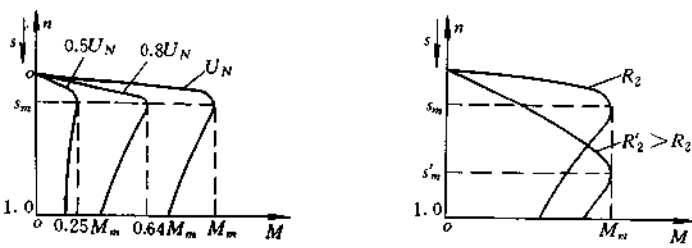
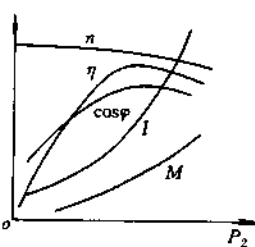
① 外壳防护等级代号由表征字母“IP”及附加在后的两个表征数字组成。第一位数字表示防固体侵入的等级, 第二位数字表示防水侵入的等级。GB4208—84《外壳防护等级的分类》中, 关于防固体侵入分 0~6 共 7 个等级, 关于防水侵入分 0~8 共 9 个等级, 详见表 JC11-30。按 GB4942.1—85《电机外壳防护分级》规定, 电机防固体侵入分 0~5 共 6 个等级, 防水侵入分 0~8 共 9 个等级, 各等级含义与 GB4208—84 规定完全一致。

2. 异步电动机的基本结构、原理及有关概念 如表 JC11-11 所示。

表 JC11-11 异步电动机的基本结构、原理及有关概念

序号	项 目		说 明	
1	基本结构	笼型电动机	定子	包括定子铁心和定子绕组, 结构与同步电机基本相同
			转子	包括铸铝笼型转子(含铁心和绕组)及转轴, 有的轴上带风扇
		绕线型电动机	定子	包括定子铁心和定子绕组, 结构与同步电机基本相同
			转子	包括转子铁心和转子绕组, 三相异步电动机的转子绕组为三相绕组, 可联结成星形或三角形, 其三条引线分别接到三个滑环上, 再经三个电刷引出来, 供外接电阻之用。转子还有转轴和风扇等
2	工作原理		<p>定子的三相绕组通入频率为 f 的三相交流电流, 就在气隙中产生旋转磁场, 其转速(同步转速)为</p> $n_s = 60f/p$ <p>式中, n_s 单位为 r/min; f 单位为 Hz</p> <p>旋转磁场切割转子绕组, 在转子绕组中感应电动势。转子电动势在自成闭合回路的转子绕组中产生电流, 转子电流与旋转磁场作用产生电磁转矩, 拖动机械负载旋转</p> <p>空载运行时, 电动机转速 n 非常接近同步转速 n_s, 转子电流接近于零, 定子电流近似等于其励磁电流</p> <p>负载运行时, 转子转速 $n < n_s$, 而且负载越重, $(n_s - n)$ 越大, 从而使转子绕组感应的电动势和电流越大, 使电磁转矩增大, 以适应负载转矩的要求</p>	
3	转差率		<p>指同步转速 n_s 与电机转子转速 n 之差与同步转速 n_s 之比值或百分值, 即转差率为</p> $s = \frac{n_s - n}{n_s}$ <p>异步电动机起动初瞬间 ($t=0$), $n=0$, 这时 $s=1$</p> <p>异步电动机正常运行时, $n < n_s$, 但两转速相差不大, 通常 $s=0.01 \sim 0.05$</p>	
4	异步电动机的起动	笼型电动机的起动方法	<p>①全压起动, 又称“直接起动”。起动电流较大。适于电动机容量较小而电源容量相对较大的情况</p> <p>②降压起动, 包括: a. $Y-\Delta$ 起动(星形起动, 三角形运行); b. 电抗降压起动(起动时电抗器串入定子绕组, 起动后即短接); c. 自耦变压器起动(起动时接入, 起动后切除); d. 延边三角形起动(定子绕组作延边三角形联接, 待转速增加到接近额定转速时切换为三角形运行)。降压起动适于电动机容量较大而电源容量又相对较小的情况, 可使起动电流适当减小而使起动转矩增大</p>	
		绕线型电动机的起动方法	<p>①起动变阻器起动。功率较小的电动机可采用一般三相变阻器或油浸式起动变阻器, 功率较大的电动机则采用水阻器。变阻器接在转子回路中, 起动过程中逐级减小, 起动后全部短接</p> <p>②频敏变阻器起动。它接在转子回路中, 起动过程中, 其电抗值及与其对应的铁心涡流损耗的等效电阻值随着转子电流频率的减小而自动降低, 因此无需经过分级切换电阻即可将电动机平稳地起动起来。此法简单经济, 应优先选用</p>	
5	异步电动机的调速	变极调速法	利用改变定子绕组线圈间的连接, 使电动机的极数改变, 以达到调速的目的。此法主要用于笼型电动机	
		调节定子电压调速法	通过自耦变压器来调节定子电压。此法多用于具有高电阻转子绕组的笼型电动机及转子绕组串联有变阻器的绕线型电动机	

(续)

序号	项 目	说 明	
5	异步电动机 的调速	调节转子 电阻调速法	通过调节串联在转子回路的变阻器来调速。此法适用于绕线型电动机
		串级调速法	它是在绕线型电动机上,利用晶闸管变流装置,将转子回路内转差电压整流和逆变后,使转子部分功率反馈到电网上去。调节晶闸管的逆变角以控制反馈能量即可实现调速。此法适用于要求调速范围小于1:2的中、小容量绕线型电动机
		变频调速法	利用改变电源频率来改变电动机的同步转速,从而实现调速的目的。但必须注意,在变频的同时,必须调节电压,以保证获得恒转矩的调速特性。变频电源可由晶闸管变频装置或变频机组提供
6	异步电动机 的制动	再生制动法	又称“发电制动”。当转子转速在外加转矩作用下大于同步转速时,电动机转为发电机运行,产生制动转矩,从而很快制动
		反接制动法	利用短时改变电动机电源相序,使旋转磁场反向,这时电动机产生的转矩与负载惯性转矩反向,从而达到快速制动的目的
		能耗制动法	又称“动力制动”。在电动机切除交流电源后,立即加上直流电源,使电机气隙中产生一个静止磁场,在转子绕组中产生感应电动势和电流,因而消耗动能产生制动作用。此法通常用于非逆转的传动系统及停机后才允许反转的可逆传动系统上
		机械制动法	在电动机切除电源的同时,也切断制动机构的电源,使制动用的电磁抱闸释放弹簧压力而迅速动作,使电动机迅速停转。此法广泛用于起重卷扬等设备上
7	异步电动机的机械特性	 <p>不同定子电压时的 人为机械特性</p> <p>转子回路串三相对称电阻 时的人为机械特性</p>	
8	异步电动机的工作特性	<p>指在 $U_1=U_N$、$f_1=f_N$ 条件下的下列关系:</p> <p>$n=f(P_2)$</p> <p>$I_1=f(P_2)$</p> <p>$\cos\varphi_1=f(P_2)$</p> <p>$M=f(P_2)$</p> <p>$\eta=f(P_2)$</p> 	

(六) 变压器和互感器

1. 电力变压器的类型、特点及应用范围 如表 JC11-12 所示。

表 JC11-12 电力变压器的类型、特点及应用范围

序号	类别	主要特点	应用范围
1	按功能分类		
1.1	升压变压器	一次绕组匝数少, 二次绕组匝数多	供升高电压用
1.2	降压变压器	一次绕组匝数多, 二次绕组匝数少	供降低电压用
1.3	联络变压器	一、二次绕组匝数取决于一、二次系统电压	供不同电压系统联络用
1.4	配电变压器	直接供用电负载的降压变压器	供降压配电用
2	按相数分类		
2.1	单相变压器	只有一个铁心、两个绕组。单台可供单相负载。三台按一定方式联结起来可组成三相变压器组, 可用来变换三相电压, 而每台单相容量只有总容量的 1/3, 因而每台变压器的体积、重量均较小, 制造、运输较方便	在大电力系统中当容量很大时及配电系统中单相负载很大或专对单相负载(如路灯)供电时采用。电力系统中用的接成三相变压器组
2.2	三相变压器	一般双绕组三相变压器有六个绕组(其中三个一次绕组、三个二次绕组)和一个共同的三芯柱铁心。在三相总容量相同的情况下, 它与三台单相组成的变压器组相比, 具有造价低、占地小等优点	广泛用于工厂供电系统及城市配电系统中, 在大电力系统中当容量不太大时也优先采用
3	按绕组型式分类		
3.1	双绕组变压器	每相两个绕组, 其中一个为一次绕组, 另一个为二次绕组, 可变换一个电压。一、二次绕组之间通过磁路联系, 没有电联系	广泛用于变换一个电压的场合
3.2	三绕组变压器	每相三个绕组, 其中一个为一次绕组, 另两个为二次绕组, 可将一次电压变换为两个二次电压。三个绕组间也只有磁联系	用于需两个二次电压的场合
3.3	自耦变压器	二次绕组与一次绕组有一部分是公用的, 即有一部分为“公共绕组”(参看表 JC11-13 序号 1), 因此其一、二次绕组间除有磁的联系外, 尚有电的联系。与普通变压器相比, 具有体积小、节约材料和投资、运行费用低等优点	常用于电力系统中作联络变压器用。自耦变压器在实验室中应用甚为普遍, 主要作为调压用
4	按绕组导体材质分类		
4.1	铜绕组变压器	绕组导体材质为铜。与同容量的铝绕组变压器相比, 导体材料用量较少, 使外形尺寸略有缩小, 但价格较贵, 一般宜“以铝代铜”, 选用铝绕组变压器	用于大容量变压器及某些低损耗配电变压器
4.2	铝绕组变压器	绕组导体材质为铝。铝绕组变压器与同容量的铜绕组变压器在功率损耗方面基本相同, 只是用材较多, 但价格较低廉, 作为配电变压器宜优先选用	广泛用作配电变压器

(续)

序号	类别	主要特点	应用范围
5	按绕组绝缘类型分类		
5.1	油浸式变压器	绕组和铁心浸于绝缘油中,绝缘油除具有绝缘功能外,还有散热和灭弧功能,油浸式变压器与干式变压器相比,具有较好的绝缘和散热性能,且价较低廉,便于检修,但油为可燃物质,故有易燃易爆的危险	广泛用作电力变压器,但不宜用于易燃易爆场所
5.2	干式变压器	绕组和铁心不浸在绝缘油中,干式变压器有三种类型:①开启式,其绕组和铁心直接置于大气中,利用空气来绝缘和散热;②封闭式,其绕组和铁心被密封在外壳内,因而散热条件差,只用于矿井等环境;③浇注式,用浇注的环氧树脂作为绝缘和散热介质,结构简单,体积小,重量轻,主要用作小容量配电变压器	广泛用于安全防火要求较高的场所,如高层建筑的屋内变电所、地下变电所及矿井内变压装置等
5.3	充气变压器	绕组和铁心置于充气的容器中,利用充填的气体来绝缘和散热。充填的气体现在多采用六氟化硫(SF ₆),由于它具有优异的电气性能,故应用越来越广	主要用于安全防火要求较高的场所,常与其它充气电器配套组成成套装置
6	按冷却方式分类		
6.1	自冷式变压器	利用绕组和铁心周围介质来自然地散热冷却,因此最为简单经济。油浸式变压器则利用其绝缘油的自然循环冷却	一般中小容量的电力变压器多为自冷式
6.2	风冷式变压器	利用通风机来给变压器通风散热。油浸式变压器的风扇通常安装在每组散热油管的内侧或底部	用于大容量电力变压器及散热条件较差的场所
6.3	强迫油冷式变压器	利用油泵来强迫油浸式变压器的绝缘油加速循环散热冷却	用于大容量的油浸式变压器
6.4	水冷式变压器	利用冷却的循环水或喷射的冷却水来带走油浸式变压器散热油管的热量	用于大容量的油浸式变压器
7	按调压方式分类		
7.1	无载调压变压器	又称“无励磁调压变压器”,在变压器高压绕组上有 $U_N \pm 5\%U_N$ 的分接头,可利用变压器外壳上面装设的分接开关在变压器断电时进行调节。在二次电压总的接近于额定值时,则分接开关置于 U_N 的主接头位置。如二次电压总的高于额定值时,则分接开关应置于 $+5\%U_N$ 的分接头位置。如二次电压总的低于额定值时,则分接开关应置于 $-5\%U_N$ 的分接头位置。这种变压器较为经济,但不能随负载变动进行调压	广泛应用于对调压要求不是很高的场所,特别是10kV及以下的配电变压器宜优先选用这种型式
7.2	有载调压变压器	它配有有载分接开关、有载调压控制器及有关附件,能在负载下调节变压器一次绕组的分接头,使其输出电压稳定在规定的范围内,满足负载对电压水平的要求	主要用于10kV及以上的电力系统中及对电压水平要求很高的场所

(续)

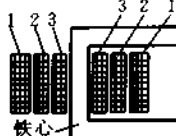
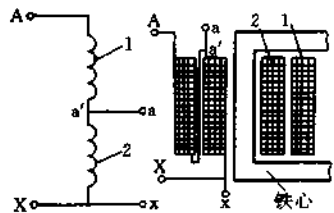
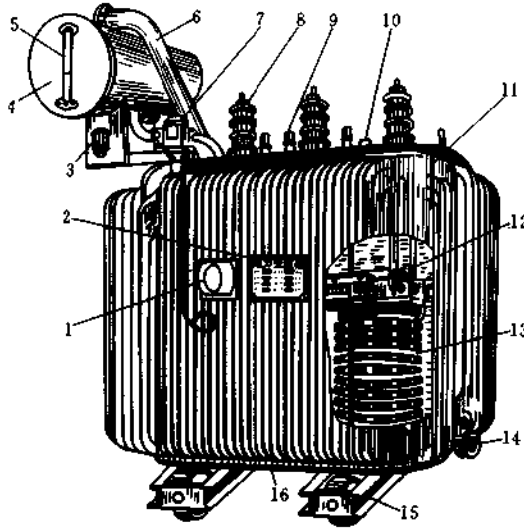
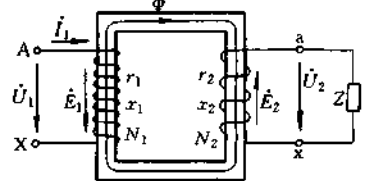
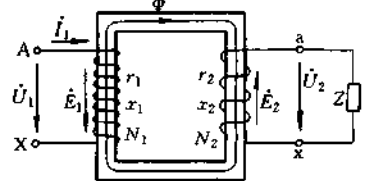
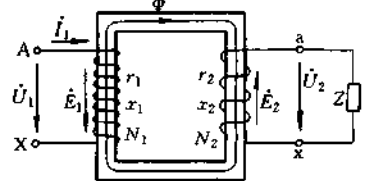
序号	类别	主要特点	应用范围
8	按容量系列分类		
8.1	R8 容量系列的变压器	变压器的容量等级是按 $R8 = \sqrt[8]{10} \approx 1.33$ 倍数递增的。我国老的变压器容量等级都采用此种系列	旧的变压器容量系列, 现已不再使用
8.2	R10 容量系列的变压器	变压器的容量等级是按 $R10 = \sqrt[10]{10} \approx 1.26$ 倍数递增的。我国新的变压器容量等级都采用此种系列	新的变压器容量系列, 现已普遍采用
9	按铁心材质分类		
9.1	热轧硅钢片的变压器	热轧硅钢片采用热轧工艺制成, 与冷轧硅钢片比较, 其导磁性能较差, 铁损较大	老的变压器一般采用此种硅钢片铁心, 现已不再使用
9.2	冷轧硅钢片的变压器	冷轧硅钢片采用冷轧工艺制成, 其导磁性能好, 铁损较小	新的变压器均采用此种硅钢片铁心
10	按用途分类		
10.1	普通变压器	包括一般油浸式和干式变压器。其导电部分是外露的	应用于一般正常环境
10.2	全封闭变压器	具有密封结构, 将导电部分密封, 具有防尘、防腐、防爆功能	用于多尘、有腐蚀性及易爆场所
10.3	防雷变压器	其联结方式特别, 耐雷水平较高	用于多雷地区

2. 电力变压器的基本结构、原理及有关概念 如表 JC11-13 所示。

表 JC11-13 电力变压器的基本结构、原理及有关概念

序号	项目	说明
1	基本结构	<p>单相变压器</p>
		<p>三相变压器</p>
		<p>双绕组结构</p> <p>1—高压绕组 2—低压绕组</p>

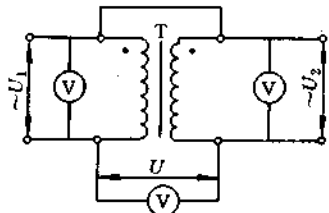
(续)

序号	项 目	说 明							
1	三绕组结构	 <p>1—高压绕组 2—中压绕组 3—低压绕组</p>							
	自耦变压器结构	 <p>1—串联绕组 2—公共绕组</p>							
	基本结构	 <p>1—信号温度计 2—铭牌 3—吸湿器 4—油枕(储油柜) 5—油标 6—防爆管 7—瓦斯继电器 8—高压套管 9—低压套管 10—分接开关 11—油箱 12—铁心 13—绕组及绝缘 14—放油阀 15—小车 16—接地端子</p>							
2	工作原理 (按单相双绕组变压器分析)	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="430 1693 555 1765">一、二次感应电动势方程</td> <td data-bbox="555 1693 933 1765"> $U_1 \approx E_1 = 4.44fN_1\Phi_m$ $U_2 \approx E_2 = 4.44fN_2\Phi_m$ </td> <td data-bbox="933 1693 1353 1912" rowspan="3">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="430 1765 555 1836">一、二次绕组电压方程</td> <td data-bbox="555 1765 933 1836"> $\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 r_1 + j\dot{I}_1 x_1$ $\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - \dot{I}_2 r_2 - j\dot{I}_2 x_2$ </td> </tr> <tr> <td data-bbox="430 1836 555 1912">传输功率</td> <td data-bbox="555 1836 933 1912"> $S_1 = U_1 I_1 \approx S_2 = U_2 I_2$ <p>(略去损耗)</p> </td> </tr> </table>	一、二次感应电动势方程	$U_1 \approx E_1 = 4.44fN_1\Phi_m$ $U_2 \approx E_2 = 4.44fN_2\Phi_m$		一、二次绕组电压方程	$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 r_1 + j\dot{I}_1 x_1$ $\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - \dot{I}_2 r_2 - j\dot{I}_2 x_2$	传输功率	$S_1 = U_1 I_1 \approx S_2 = U_2 I_2$ <p>(略去损耗)</p>
一、二次感应电动势方程	$U_1 \approx E_1 = 4.44fN_1\Phi_m$ $U_2 \approx E_2 = 4.44fN_2\Phi_m$								
一、二次绕组电压方程	$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 r_1 + j\dot{I}_1 x_1$ $\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - \dot{I}_2 r_2 - j\dot{I}_2 x_2$								
传输功率	$S_1 = U_1 I_1 \approx S_2 = U_2 I_2$ <p>(略去损耗)</p>								

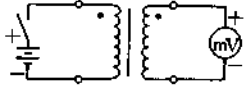
(续)

序号	项 目		说 明
2	工作原理 (按单相双绕组变压器分析)	磁动势平衡方程	$I_1 N_1 - I_2 N_2 = I_0 N_1$ 式中, I_0 为空载电流
		一、二次电压关系	$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{N_1}{N_2} = K$ 式中, K 为电压比
		一、二次电流关系	$\frac{I_1}{I_2} \approx \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{K}$
3	相量图(单相、双绕组)	<p style="text-align: right;"> $E'_2 = K E_2$ $\dot{U}'_2 = K \dot{U}_2$ $\dot{I}'_2 = \dot{I}_2 / K$ $r'_2 = K^2 r_2$ $x'_2 = K^2 x_2$ </p>	
4	等效电路(单相、双绕组)		
5	正常使用条件	海拔	一般不超过 1000m
		环境温度	最高气温 +40℃ 最高日平均气温 +30℃ 最高年平均气温 +20℃ 最低气温 -30℃ (适用于户外式变压器) 最低气温 -5℃ (适用于户内式变压器)
		电源电压波形	电源电压的波形近似于正弦波
		多相电源电压的对称性	多相变压器的电源电压应近似对称
6	特性参数	空载损耗	指当以额定频率的额定电压施加于一个绕组的端子上, 其余各绕组开路时变压器所吸取的有功功率

(续)

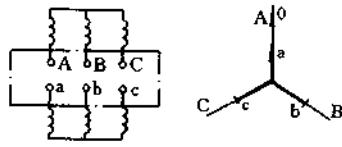
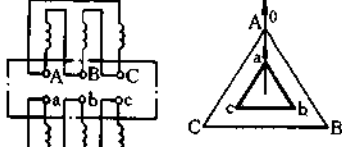
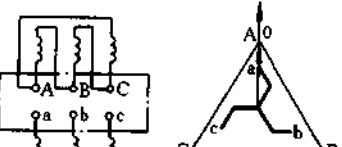
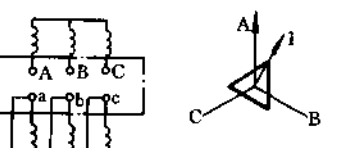
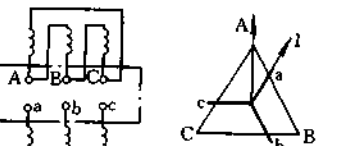
序号	项 目	说 明
6	负载损耗 (又称“短路损耗”)	<p>①双绕组变压器： 指当额定电流流经一个绕组的线路端子，而另外一个绕组端子短接时，在额定频率下变压器所吸取的有功功率</p> <p>②多绕组变压器（以指定的一对绕组为准）： 指当电流流经该对绕组中一个绕组的线路端子，而电流值与该对绕组中额定容量值较小的绕组的额定电流相对应，且该对绕组中另一绕组的端子短接，其余的绕组开路时，在额定频率下变压器所吸取的有功功率</p>
	总损耗	指空载损耗与负载损耗之和
	空载电流	<p>指当变压器的一个绕组施加额定频率的额定电压时，其余各绕组开路，流经该绕组线路端子的电流</p> <p>注：①一个绕组的空载电流通常以其占额定电流的百分数表示。对多绕组变压器来说，这个百分数是以最大额定容量的那个绕组为准的。②对于多相变压器，流经不同线路端子的空载电流可能不相等，但不分别给出这些空载电流值，而取其算术平均值</p>
	阻抗电压 (又称“短路电压”)	<p>①双绕组变压器： 指当一侧的端子短路，以额定频率的电压施加于多相变压器另一侧绕组的线路端子上，或单相变压器另一侧绕组的端子上，并使其中流过额定电流时所施加的电压</p> <p>②多绕组变压器（以指定的一对绕组为准）： 指当该对绕组中的一个绕组短路，而以额定频率的电压施加于该对绕组中另一绕组的线路端子上，并使其中流过的电流值与该对绕组中额定容量值较小的绕组的额定电流相对应时所施加的电压</p>
7	星形联结 (Y)	多相变压器各组线圈的一端，或组成多相组的单相变压器具有相同额定电压绕组的一端接成一个公共点（称为“中性点”，其它端子接到相应的线路端子
	三角形联结 (D)	三相变压器的三个相线圈，或组成三相组的单相变压器具有相同额定电压的三个绕组互相串联，形成一个闭合的回路
	开口三角形联结	三相变压器的三个相线圈，或组成三相组的单相变压器具有相同额定电压的三个绕组互相串联，但三角形的一个角不闭合
	曲折形联结 (Z)	多相变压器的相线圈接成星形，每个相线圈由两部分组成，这两部分线圈的感应电压相位不同，且通常具有相同的匝数
	联结组标号	指出变压器高压、中压（如果有）和低压绕组的联结方法和以时钟序数表示的相对的相位差的通用标号，如 Yy0 和 Dy11 等。
8	“减极性” 的概念及 极性交流 判别法	<p>按我国规定，变压器和互感器线圈（绕组）的端子极性采用“减极性”标号法。按右图接线，如一对同名端（或称“同极性端”）短接，则另一对同名端测出的电压为 $U = |U_1 - U_2|$。如果短接的两个端子，不是“同名端”，则另一对端子间的电压 $U = U_1 + U_2$</p> <p>按规定，同名端可用小黑点“·”或“*”或“±”号标示。用字母标注时，变压器和电压互感器的一次绕组端子首尾相应地标以 A、X、B、Y、C、Z，二次绕组端子首尾相应地标以 a、x、b、y、c、z。A 与 a、B 与 b、C 与 c 分别为同名端，而 X 与 x、Y 与 y、Z 与 z 也分别为同名端</p> 

(续)

序号	项 目		说 明
8	“减极性” 标号法	极性的直 流判别法	<p>判断变压器和电压互感器线圈端子极性的直流判别法的接线如右图所示,一次侧接上电池组,二次侧接直流毫伏表。在接通电池瞬间,如果毫伏表指针正偏,则两侧绕组接电池正极的端子与接毫伏表正极的端子为“同名端”</p> 

3. 三相电力变压器的联结组 如表 JC11-14 所示。其中各种联结图中都假定所有线圈具有相同的绕向。“联结组标号”栏内加括号者是旧标号,其右上角标有“*”符号者为比较常用的联结组。

表 JC11-14 三相电力变压器的联结组

序号	联结组标号	联结图及各绕组 电压矢量的相位移	一次侧电池		二次侧直流表		
			+	-	a+ b-	b+ c-	a+ c-
1	* Yy0 (Y/Y-12)		AB		+	-	+
			BC		-	+	+
			AC		+	+	+
2	Dd0 (Δ/Δ-12)		AB		+	-	+
			BC		-	+	+
			AC		+	+	+
3	* Dz0 (Δ/Z-12)		AB		+	-	+
			BC		-	+	+
			AC		+	+	+
4	Yd1 (Y/Δ-1)		AB		+	-	0
			BC		0	+	+
			AC		+	0	+
5	Dy1 (Δ/Y-1)		AB		+	-	0
			BC		0	+	+
			AC		+	0	+

(续)

序号	联结组标号	联结图及各绕组电压矢量的相位移	二次侧直流表			
			一次侧电池 + -	a+ b-	b+ c-	a+ c-
6	Yz1 (Y/Z-1)		AB	+	-	0
			BC	0	+	+
			AC	+	0	+
7	Yy2 (Y/Y-2)		AB	+	-	-
			BC	+	+	+
			AC	+	-	+
8	Dd2 (Δ/Δ-2)		AB	+	-	-
			BC	+	+	+
			AC	+	-	+
9	D,z2 (Δ/Z-2)		AB	+	-	-
			BC	+	+	+
			AC	+	-	+
10	Yd3 (Y/Δ-3)		AB	0	-	-
			BC	+	0	+
			AC	+	-	0
11	Dy3 (Δ/Y-3)		AB	0	-	-
			BC	+	0	+
			AC	+	-	0

(续)

序号	联结组标号	联结图及各绕组电压矢量的相位移	二次侧直流表			
			一次侧电池 + -	a ⁺ b ⁻	b ⁺ c ⁻	a ⁺ c ⁻
12	Yy4 (Y/Y-4)		AB	-	-	-
			BC	+	-	+
			AC	+	-	-
13	Dd4 (Δ/Δ-4)		AB	-	-	-
			BC	+	-	+
			AC	+	-	-
14	Dz4 (Δ/Z-4)		AB	-	-	-
			BC	+	-	+
			AC	+	-	-
15	Yd5 (Y/Δ-5)		AB	-	0	-
			BC	+	-	0
			AC	0	-	-
16	Dy5 (Δ/Y-5)		AB	-	0	-
			BC	+	-	0
			AC	0	-	-
17	Yz5 (Y/Z-5)		AB	-	0	-
			BC	+	-	0
			AC	0	-	-

(续)

序号	联结组标号	联结图及各绕组电压矢量的相位移	一次侧电池 + -	二次侧直流表		
				a ⁺ b ⁻	b ⁺ c ⁻	a ⁺ c ⁻
18	Yy6 (Y/Y-6)		AB	-	+	-
			BC	+	-	-
			AC	-	-	-
19	Dd6 (Δ/Δ-6)		AB	-	+	-
			BC	+	-	-
			AC	-	-	-
20	Dz6 (Δ/Z-6)		AB	-	+	-
			BC	+	-	-
			AC	-	-	-
21	Yd7 (Y/Δ-7)		AB	-	+	0
			BC	0	-	-
			AC	-	0	-
22	Dy7 (Δ/Y-7)		AB	-	+	0
			BC	0	-	-
			AC	-	0	-
23	Yz7 (Y/Z-7)		AB	-	+	0
			BC	0	-	-
			AC	-	0	-

(续)

序号	联结组标号	联结图及各绕组电压矢量的相位移	一次侧电池		二次侧直流表		
			+	-	a ⁺ b ⁻	b ⁺ c ⁻	a ⁺ c ⁻
24	Yy8 (Y/Y-8)		AB	-	+	+	
			BC	-	-	-	
			AC	-	+	-	
25	Dd8 (Δ/Δ-8)		AB	-	+	+	
			BC	-	-	-	
			AC	-	+	-	
26	Dz8 (Δ/Z-8)		AB	-	+	+	
			BC	-	-	-	
			AC	-	+	-	
27	Yd9 (Y/Δ-9)		AB	0	+	+	
			BC	-	0	-	
			AC	-	+	0	
28	Yy9 (Δ/Y-9)		AB	0	+	+	
			BC	-	0	-	
			AC	-	+	0	
29	Yy10 (Y/Y-10)		AB	+	+	+	
			BC	-	+	-	
			AC	-	+	+	

(续)

序号	联结组标号	联结图及各绕组电压矢量的相位移	一次侧电压 + -	二次侧电压表		
				a ⁺ b ⁻	b ⁺ c ⁻	a ⁺ c ⁻
30	Dd10 ($\Delta/\Delta-10$)		AB	+	+	+
			BC	-	+	-
			AC	-	+	+
31	Dz10 ($\Delta/Z-10$)		AB	+	+	+
			BC	-	+	-
			AC	-	+	+
32	* Yd11 ($Y/\Delta-11$)		AB	+	0	+
			BC	-	+	0
			AC	0	+	+
33	* Dy11 ($\Delta/Y-11$)		AB	+	0	+
			BC	-	+	0
			AC	0	+	+
34	* Yz11 ($Y/Z-11$)		AB	+	0	+
			BC	-	+	0
			AC	0	+	+

4. 电力变压器的型号编制 按机械行业标准 JB/T 3837—92《变压器类产品型号编制方法》规定,电力变压器的型号编制如表 JC11-15 所示。但目前生产的电力变压器型号多沿用旧标准,因此与此规定略有出入,请注意。

表 JC11-15 电力变压器的型号编制(据 JB/T 3837—92)

序号	项 目		说 明					
	型号的组成格式		<div style="text-align: center;"> <p>产品型号字母 (序号1~8) 性能水平代号 特殊用途或特殊结构 额定容量 (kV·A) 电压等级 (kV) 特殊使用环境代号</p> </div>					
1	绕组耦合方式	独立 —		自“耦” O				
2	相 数	“单”相 D		“三”相 S				
3	线圈外绝缘介质	变压器油	空气(“干”式)	“气”体	“成”型固体		“难”燃液体 N	
		—	G	Q	浇注式 C	密封式 CR		
4	冷却装置种类	自然循环冷却装置 —		“风”冷却装置 F		“水”冷却装置 S		
		—		—		—		
5	油循环方式	自然循环 —			强“迫”油循环 P			
		—			—			
6	绕组数	双绕组 —		“三”绕组 S		双“分”裂绕组 F		
		—		—		—		
7	调压方式	无功磁调压 —			有“载”调压 Z			
		—			—			
8	线圈导线材质	铜	铜“箔”	“铝”	“铝箔”			
		—	B	L	LB			
9	特殊用途或特殊结构	“密”封式	“串”联用	“起”动用	防雷“保”护用			
		M	C	Q	B			
		“调”容用	高阻“抗”	电源“牵”引用	低“噪”声用			
		T	K	QY	Z			
		“带”△不引出绕组	电“缆”引出	“隔”离用	“观”场组装式			
D	L	G	X					
10	电力变压器产品性能水平	水平代号	性能参数					若有组 I 和组 II 者,表中要求指组 I
		7	空载损耗 符合 GB 6451.1~6451.5		负载损耗 符合 GB 6451.1~6451.5			
		8	比 GB6451.1~6451.5 平均下降 10%		符合 GB 6451.1~6451.5			
		9	1600kV·A 及以下,10kV 级符合 OBT. 500.1239					
			2000kV·A 及以上,10kV 级及以上电压等级的变压器,比 GB 6451.1~6451.5 低 20%		2000kV·A 及以上,10kV 级及以上电压等级的变压器,比 GB6451.1~6451.5 低 10%			
10	比 GB6451.1~6451.5 平均降低 30%		比 GB6451.1~6451.5 平均降低 15%					

(续)

序号	项 目	说 明
11	示 例 1	三相,油浸,风冷,双绕组,无励磁调压,铝导线,性能水平符合 GB 6451.4 规定,20000kV·A, 10kV 级,电力变压器的型号为:SFL7-20000/10
	示 例 2	三相,油浸,水冷,强迫油循环,双绕组,无励磁调压,铜导线,300000kV·A,220kV 级,现场组 装式,电力变压器的型号为:SSP-X-300000/220
	备注	目前生产的 SL7、S9 等变压器型号中的 7、9 等序号为设计序号

5. 仪用互感器的类型、特点及应用范围 如表 JC11-16 所示。

表 JC11-16 仪用互感器的类型、特点及应用范围

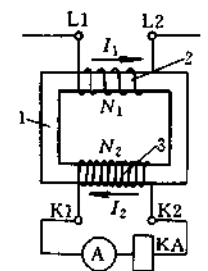
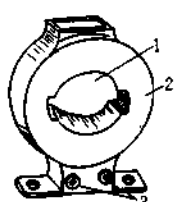
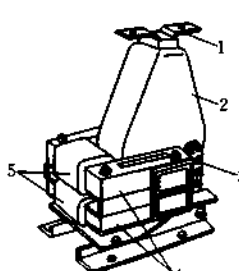
序号	类别	主要特点	应用范围	
1	按功能分类			
1.1	电流互感器 (又称“仪用 变流器”)	①一次绕组匝数很少(有的没有一次绕组,利 用一次导体穿过铁心,只有一匝),导体较粗;而 二次绕组匝数很多,导体较细。②其接入电路的 方式为:其一次绕组串联接入一次电路;而二次 绕组则与仪表、继电器的电流线圈串联,形成一 个闭合回路。③由于二次仪表、继电器等的电 流线圈阻抗很小,所以它工作时二次回路接近于 短路状态	①主要用于将大电流变换为小电流(通常 $I_{2N}=5A$),供测量、保护等二次回路用 ②用于使二次侧所接的仪表、继电器与一次 电路隔开,一、二次间只有磁联系没有电联系, 以免一次侧高电压直接引入仪表、继电器等二 次设备,又可防止二次电路故障影响一次电路, 从而确保安全	
1.2	电压互感器 (又称“仪用 变压器”)	①一次绕组匝数很多,导体很细;而二次绕组 较少,导体较粗。②其接入电路的方式为:其一 次绕组并联在一次电路中;而二次绕组则并联 仪表、继电器的电压线圈。③由于二次仪表、继 电器等的电压线圈很大,所以它工作时二次回 路接近于空载状态	①主要用于将高电压变换为低电压(通常 $U_{2N}=100V$),供测量、保护等二次回路用 ②用于使二次侧所接的仪表、继电器与一次 电路隔离,其作用与电流互感器相同,以确保安 全	
2	电流互感器的分类			
2.1	按一次 绕组的 匝数 分类	单匝式	包括芯柱式、母线式和套管式等,芯柱式的一 次绕组为一穿过铁心的直导体,而母线式和套 管式本身无一次绕组,利用母线和套管导体作 为一次绕组	用于母线及变压器和断路器等的套管上,一 般变流比较大
		多匝式	包括线圈式、线环式、串级式等,互感器有一 次和二次绕组	用于一般电力线路和配电装置上
2.2	按用途 分类	测量	其准确度要求较高。测量用电流互感器的准 确度级有 0.1,0.2,0.5,1,3,5 级等	用于供测量的电流回路
		保护	其准确度要求较低,但短时过载能力较大	用于供继电保护的电流回路
2.3	按绝缘 介质 分类	干式	采用浇注绝缘,维护简单,安全可靠	广泛应用于高低压系统中
		油浸式	采用油纸绝缘,绕组和铁心浸于绝缘油中,散 热较好,一般容量较大。但外形尺寸较大,且有 易燃易爆危险	过去在高压系统中应用广泛,但现在多为环 氧浇注式(干式)所取代

(续)

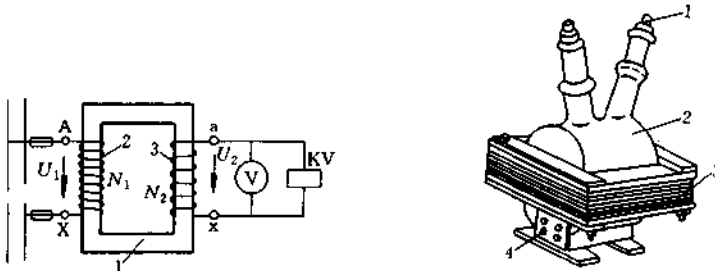
序号	类别	主要特点	应用范围
3	电压互感器的分类		
3.1	按相数和绝缘介质的分类	单相干式	采用环氧浇注绝缘,维护简单,且便于组接各种联结方式
		三相五芯柱油浸式	采用油纸绝缘,绕组和铁心浸于绝缘油中,为了反应零序电流,采用三相五芯柱铁心,便于零序磁通在铁心内闭合
3.2	按用途分类	测量	其准确度要求较高,满足测量的要求
		保护	其准确度要求较低,但能满足各种保护的特殊要求
3.3	按结构原理分类	电磁感应式	即一般电压互感器,其工作原理与普通降压变压器相同,正常工作时接近于空载状态
		电容分压式	利用串联电容器分压原理组成。一次侧串联的电容器多,电压高;二次侧电压则是从上述串联电容器组中分出的一部分电压,因此电压低

6. 仪用互感器的基本结构、原理及有关概念 如表 JC11-17 所示。

表 JC11-17 仪用互感器的基本结构、原理及有关概念

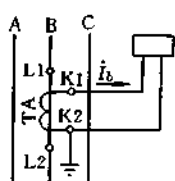
序号	项目	说明
1	电流互感器	
1.1	基本结构	   <p>LMZJ1-0.5型 1—铁心 2—一次绕组 3—二次绕组</p> <p>LQJ-10型 1—一次接线端 2—一次绕组,外绕二次绕组,环氧浇注; 3—二次接线端 4—铁心 5—二次绕组</p>
1.2	一、二次电流关系	$I_1 \approx \frac{N_2}{N_1} I_2 \approx K_i I_2$ <p>式中, N_1、N_2 分别为电流互感器一次和二次绕组的匝数; K_i 为变流比, $K_i = I_1 N / I_2 N$, $I_2 N$ 一般为 5A</p>
1.3	工作时二次侧不允许开路	<p>根据其磁动势平衡方程式(参看表 JC11-13 序号 2) $\dot{I}_1 N_1 - \dot{I}_2 N_2 = \dot{I}_0 N_1$ 可知,由于电流互感器的二次负载很小,接近于短路工作状态,因此 $\dot{I}_2 N_2 \approx \dot{I}_1 N_1$,正常工作时 I_0 很小,通常只有 I_1 的百分之几。但是如果二次侧工作时开路,则 $I_2 = 0$,强制 $I_0 = I_1$,即 I_0 比正常时骤增几十倍。这 I_0 为励磁电流,从而使铁心中磁通大增,将产生下列严重后果:①铁心过热,产生剩磁,降低准确度;②二次绕组感生危险的高电压,危及二次设备及人身安全</p>

(续)

序号	项目	说明
1	电流互感器	
1.4	二次侧有一端子必须接地	为防止电流互感器一、二次绕组间绝缘击穿时,一次侧的高电压窜入二次侧,危及人身和设备安全,因此规定二次侧有一端子必须接地
1.5	端子极性标号	接线时,必须注意其一、二次绕组端子的极性。按规定,电流互感器的一次绕组端子分别标以L1、L2,其二次绕组端子分别标以K1、K2。L1与K1、L2与K2分别为对应的“同名端”,或称“同极性端”。注意:一次电流 I_1 如果由L1流向L2,则二次电流 I_2 则由K2流向K1
2	电压互感器	
2.1	基本结构	 <p style="text-align: center;">JDZJ-10 型</p> <p style="text-align: center;">1—一次接线端 2—一、二次绕组,环氧浇注 3—铁心 4—二次接线端</p>
2.2	一、二次电压关系	$U_1 \approx \frac{N_1}{N_2} U_2 \approx K_u U_2$ <p>式中, N_1、N_2 分别为电压互感器一次和二次绕组的匝数; K_u 为变压比, $K_u = U_{1N}/U_{2N}$, U_{2N} 一般为 100V</p>
2.3	一、二次侧装设熔断器保护	为防止二次侧短路时损坏互感器,特别是为了防止互感器短路时危及一次电路系统的正常运行,因此互感器的一次侧和二次侧均应装设熔断器保护
2.4	二次侧有一端子必须接地	理由与电流互感器二次侧接地相同(参看本表序号 1.4)
2.5	端子极性标号	单相,一次侧标 A、X,二次侧标 a、x。三相,一次侧分别标 A、X、B、Y、C、Z,相应地二次侧分别标 a、x、b、y、c、z。

7. 仪用互感器常用的联结方案 如表 JC11-18 所示。

表 JC11-18 仪用互感器常用的联结方案

序号	类别	联结方案	适用范围
1	电流互感器的联结方案		
1.1	一相式接线		适用于负荷平衡的三相线路(如低压动力线路),供测量电流或接过负荷保护装置

(续)

序号	类别	联结方案	适用范围
1 电流互感器的联结方案			
1.2	两相 V 形接线		适用于中性点不接地的三相三线制线路,供测量三相电流和电能等,并可供接过电流保护装置之用
1.3	两相电流差接线		适用于中性点不接地的三相三线制线路,供接过电流保护装置之用
1.4	三相 Y 形接线		适用于三相四线制线路(如照明线路)及中性点直接接地的三相三线制线路,供三相电流、电能测量及过电流保护用
2 电压互感器的联结方案			
2.1	一个单相电压互感器		适用于电压对称的三相线路,供仪表、继电器接于一个线电压
2.2	两个单相电压互感器接成 V/V 形		适用于三相三线制线路,供仪表、继电器接于各个线电压,广泛用于高压系统中作为电压、电能测量
2.3	三个单相电压互感器接成 Y ₀ /Y ₀ 形		适用于三相三线制和三相四线制线路,可供接要求线电压的仪表、继电器,并可接要求相电压的绝缘监察用的三个电压表(对三相三线制线路)

(续)

序号	类别	联结方案	适用范围
2	电压互感器的联结方案		
2.4	三个单相三绕组电压互感器或一个三相三绕组五芯柱电压互感器接成 $Y_0/Y_0/\Delta$ 形	<p>The diagram shows three primary windings connected in a star configuration to phases A, B, and C. The secondary windings are also connected in a star configuration, with their neutral point grounded. The tertiary windings are connected in a closed delta configuration.</p>	适用于三相三线制线路,接成 Y_0 的二次绕组,供接要求线电压的仪表、继电器及作绝缘监察用的电压表;接成开口三角形的辅助二次绕组,则构成零序电压过滤器;供接作绝缘监察用的电压继电器

8. 仪用互感器的型号编制 如表 JC11-19 所示。

表 JC11-19 仪用互感器的型号编制(据 JB/T 3837—92)

序号	项目	说明
1	互感器产品型号组成格式	
1.1	型号格式	<p>产品型号字母 设计序号 电压等级 (kA) 特殊使用环境代号</p>
2	电流互感器产品型号的字母排列顺序及含义 ^①	
2.1	用途	电“流”互感器 L
2.2	结构型式	套管式(装“入”式) 支“柱”式 线“圈”式
		R Z ^② Q
		贯穿式(“复”匝) 贯穿式(“单”匝) “母”线型
		F D M
		“开”合式 倒立式 “链”型
K V A ^③		
2.3	线圈外绝缘介质	变压器油 空气(“干”式) “气”体
		— G Q
		“瓷” 浇“注”成型固体 绝缘“壳”
		C ^④ Z K
2.4	结构特征及用途	带有“保”护级 带有“保”护级(暂“态”误差)
		B BT ^⑤
2.5	油保护方式	带金属膨胀器 不带金属膨胀器
		— N
2.6	示例	母线型,浇注绝缘,电压 20kV 级,电流互感器型号为:LMZ-20

(续)

序号	项 目	说 明			
3	电压互感器产品型号的字母排列顺序及含义				
3.1	用 途	电“压”互感器		J	
3.2	相 数	“单”相		“三”相	
		D		S	
3.3	线圈外绝缘介质	变压器油	空气(“干”式)	浇“注”成型固体	“气”体
		—	G	Z	Q
3.4	结构特征及用途	带剩余(零序)绕组		三柱带“补”偿绕组	
		X		B	
		“串”级式带剩余(零序)绕组		有测量和保护“分”开的二次绕组	
3.5	油保护方式	带金属膨胀器		不带金属膨胀器	
		—		N	
3.6	示 例	单相,油浸,串级式带剩余绕组,装金属膨胀器,Ⅰ级污秽地区用,电压互感器型号为:JDC-110W1			
4	组合互感器产品型号的字母排列顺序及含义				
4.1	用 途	组合互感器		JL	
4.2	相 数	“单”相		“三”相	
		D		S	
4.3	线圈外绝缘介质	变压器油	空气(“干”式)	浇“注”成型固体	“气”体
		—	G	Z	Q
5	特种电流互感器产品型号的字母排列顺序及含义				
5.1	用 途	“直”流电“流”互感器		LH	
		中“频”电“流”互感器		LP	
		“弱”电电“流”互感器		LU	
		电缆型零“序”电“流”互感器		LX	
		带“母”线型零“序”电“流”互感器		LXM	
		“速”饱和电“流”互感器		LS	
6	特种电压互感器产品型号的字母排列顺序及含义				
6.1	用 途	“直”流电“压”互感器		JH	
		中“频”电“压”互感器		JP	
		“弱”电电“压”互感器		JU	

- ① 当对正常产品采用加大容量或加强绝缘时,应在产品型号字母后边加“J”表示。
- ② 以瓷箱作支柱时,不表示。
- ③ 电容型,不表示。
- ④ 主绝缘为瓷绝缘时表示,外绝缘为瓷箱时不表示。
- ⑤ 只用于套管式互感器。

(七) 高压电器和低压电器

1. 电器的类型、特点及应用范围 如表 JC11-20 所示。

表 JC11-20 电器的类型、特点及应用范围

序号	类别	主要特点	应用范围
1	按电压高低分类		
1.1	低压电器	①泛指 1000V 及以下的电器(也有的不包括避雷器、电容器,下同) ②交流 50Hz、额定电压 1200V 及以下或直流额定电压 1500V 及以下的电器(据 GB1497—85)	用于低压系统
1.2	高压电器	①泛指 1000V 以上的电器 ②超过 GB1497—85 所定义的低压电器规定的电压上限的所有电器	用于高压系统
2	按功能分类		
2.1	控制电器	包括各种起动器、接触器和控制继电器等,有时将开关电器、调节电器也包括在控制电器之内	用于控制电路和用电设备
2.2	开关电器	包括各种开关,如刀开关、隔离开关、负荷开关、断路器和按钮等,有时将开关电器归入控制电器	用于通断电路
2.3	调节电器	包括各种调压、调频和调速等电器,也有的将调节电器归入控制电器	用于电压、电频率及转速等的调节
2.4	保护电器	包括各种熔断器、避雷器和保护继电器等	用于电路和设备的保护
2.5	测量、放大和变换电器	包括传感器、放大器、电流互感器、电压互感器等	用于电路的测量、放大和电能变换
2.6	牵引和传动电器	包括各种操作和牵引电磁铁及机械负载传动用电磁离合器等	用于传动机构的牵引和控制
3	按使用场所分类		
3.1	一般工业企业用电器	电器外壳防护按一般工业企业考虑,无特殊要求	用于大部分工业企业
3.2	特殊工矿企业用电器	电器应满足环境条件要求的防腐、防爆等要求	用于有防腐、防爆要求的企业
3.3	农用电器	电器应满足农村条件的安全可靠及经济实用的要求	用于农村
3.4	热带用电器	电器应采用适于热带地区使用的派生产品	用于热带和亚热带地区
3.5	高原用电器	电器应采用适于高原地区使用的派生产品	用于海拔 1000m 以上高原
3.6	家用电器	应特别注意安全、可靠	用于家庭

(续)

序号	类别	主要特点	应用范围
4	按强电和弱电分类		
4.1	强电电器	强电(电力)的特点是功率大、电流大、频率低,其电器要求主要是能耗低、效率高	主要用于强电(电力)的电路系统
4.2	弱电电器	弱电(电信)的特点是功率小、电流小、频率高,其电器要求主要是使信号传送的失真小、抗干扰能力强	主要用于弱电(电信)的电路系统
5	按电器执行功能分类		
5.1	有触点电器	电器通断的执行功能由机械触点(触头)来实现	主要用于电力系统
5.2	无触点电器	电器通断的执行功能不是由机械触点(触头)来实现,而是根据开关元件输出信号的电平高低来实现	主要用于电子电路
5.3	混合式电器	有触点与无触点相结合的一类电器	主要用于自动控制系统

2. 高压电器的要求及其型号编制 如表 JC11-21 所示。

表 JC11-21 高压电器的要求及其型号编制

序号	项目	说明
1	对高压电器的要求	
1.1	绝缘安全可靠	高压电器的绝缘强度,既要考虑能耐受工频最高工作电压的长期作用,又要考虑能耐受大气雷电过电压和因电力系统参数突然变化而引起的操作过电压的短时作用
1.2	满足正常发热条件	高压电器在长期通过额定负载电流及通过一定的过载电流时,其发热温度应不超过允许值,以免电器损坏
1.3	满足短路热稳定条件	高压电器应能耐受一定的短路电流通过时产生的热效应而不致损坏,即能达到规定的短路热稳定度的要求(参看表 ZY4-9)
1.4	满足短路动稳定条件	高压电器应能耐受一定的短路冲击电流通过时产生的电动效应而不致损坏,即能达到规定的短路动稳定度的要求(参看表 ZY4-9)
1.5	具有足够的通断能力	开关电器应具有规定的通断能力,特别是有分断短路电流要求的断路器,应满足规定的分断短路电流的要求,即具有足够的断流能力(参看表 ZY4-9)
1.6	简单经济	要求结构简单,成本低廉,运行能耗小
2	高压电器的型号编制	
2.1	型号的组成格式	<div style="text-align: center;"> <p>产品代号 安装代号 设计序号 额定电压(kV) 其它标志代号 额定电流(A) 其它规格数字 特殊环境代号</p> </div>

(续)

序号	项 目		说 明							
2	高压电器的型号编制									
2.1	型号的组成格式	开关操作机构								
2.2	产品名称代号		S	D	Z	L	K	C	Q	
			少油断路器	多油断路器	真空断路器	六氟化硫断路器	空气断路器	磁吹断路器	产气断路器	
			F	R	G	J	C	ZH	ZF	
		负荷开关	熔断器	隔离开关	接地短路器	操作机构	敞开式组合电器	全封闭组合电器		
2.3	安装场所代号		N				W			
			户 内				户 外			
2.4	操作机构操作方式代号		S	D	J	T	Z	Q	Y	
			手动	电磁	电动机	弹簧	重锤	气动	液压	
2.5	其它标志代号		G	D	X	K	H			
			产品的部分改进	隔离开关带接地刀闸	操作机构带箱子	带有快分装置	带有限流电阻			
			R	F	(F)	Z	T			
			负荷开关带熔断器	可分相操作	负荷型的跌落式熔断器	带有重合闸装置	带有脱扣器			
2.6	特殊环境条件派生代号		T	TH	TA	G	H	F		
			按临时措施制造	湿热带	干热带	高原	船用	化工防腐用		
2.7	型号示例	少油断路器								
		高压负荷开关								

(续)

序号	项 目		说 明
2.7	型号 示例	高压隔 离开关	<p style="text-align: center;">G N 19 -10 C/600 - 40G</p> <p>高压隔离开关 — G</p> <p>户内型 — N</p> <p>设计序号 — 19</p> <p>额定电压(kV) — -10</p> <p>C/600 — 额定电流(A)</p> <p>- 40G — 高原用</p> <p>— 40 — 极限通过电流(kA)</p> <p>— G — 穿墙型</p>
		弹簧操 动机构	<p style="text-align: center;">C T 9 - I</p> <p>操动机构 — C</p> <p>弹簧储能 — T</p> <p>设计序号 — 9</p> <p>I — I 兼有电动机储能和手力储能</p> <p>— I — 只有手力储能</p>
		跌开式 熔断器	<p style="text-align: center;">R W 10 - 10(F) / 100</p> <p>高压[跌开式]熔断器 — R</p> <p>户外型 — W</p> <p>设计序号 — 10</p> <p>10 - 10(F) — 额定电流(A)</p> <p>/ 100 — 额定电压(kV)</p> <p>— (F) — 负荷型(可带负荷操作)</p>

3. 低压电器的要求及其型号编制 如表 JC11-22 所示。

表 JC11-22 低压电器的要求及其型号编制

序号	项 目	说 明
1	对低压电器的要求	
1.1	安全可靠	低压电器的绝缘强度,主要要求能耐受工频最高工作电压的长期作用。对于人身可能触及的低压电器,应有防触电的保安接地装置,以确保人身安全
1.2	满足正常发热条件	此条与高压电器的要求相同(参看表 JC11-21 序号 1.2)
1.3	满足短路热稳定条件	此条与高压电器的要求相同(参看表 JC11-21 序号 1.3)
1.4	满足短路动稳定条件	此条与高压电器的要求相同(参看表 JC11-21 序号 1.4)
1.5	具有足够的通断能力	此条与高压电器的要求相同(参看表 JC11-21 序号 1.5)
1.6	具有一定的抗干扰能力	有的低压电器是用电子元件制成的,例如晶体管时间继电器、交流电子脱扣器等,这些电器在使用中,应能承受住一定外来的高频和低频的干扰信号,其动作值的误差应在规定范围内
1.7	简单经济	此条与高压电器的要求相同(参看表 JC11-21 序号 1.6)

(续)

序号	项 目	说 明														
2	低压电器的型号编制															
2.1	型号的组成格式	<div style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;"> 类组代号 设计代号 特殊代号 基本规格代号 派生代号 辅助规格代号 带产品代号 </p>														
2.2	低压电器 类组代号(横行字母在前,竖行字母在后)	代号	H	R	D	K	C	Q	J	L	Z	B	T	M	A	
		名称	刀开关和刀形转换开关	熔断器	低压断路器	控制器	接触器	起动器	控制继电器	主令电器	电阻器	变阻器	调整器	电磁铁	其它	
		A						按钮式		按钮						
		B									板形元件				触电保护器	
		C		插入式				电磁式			冲片元件	旋臂式			插销	
		D	刀开关						漏电			铁铝带型元件		电压	信号灯	
		E														
		F														
		G				菱形	高压					管形元件				
		H	封闭式负荷开关	汇流排式												接线盒
		J						交流	减压		接近开关					
		K	开启式负荷开关					真空			主令控制器					
		L		螺旋式						电流			励磁		电铃	
M		密闭管式	灭磁		灭磁											

(续)

序号	项 目	说 明													
		代号	H	R	D	K	C	Q	J	L	Z	B	T	M	A
2.2	低压电器 类组代号(横 行字母在前, 竖行字母在 后)	N													
		P				平面	中频					频繁			
		Q										起动		牵引	
		R	熔断器 式刀 开关							热		非线性 电力电 阻			
		S	刀形 转换 开关	快速	快速		时间	手动	时间	主令 开关	烧结 元件	石墨			
		T		有填 料封 闭管 式		凸轮	通用		通用	足踏 开关	铸铁 元件	起动 调速			
		U						油浸		旋钮		油浸 起动			
		W			框架 式				温度	万能 转换 开关		液体 起动		起重	
		X						星 三角		行程 开关	电阻 器	滑线 式			
		Y	其它	其它	其它	其它	其它	其它	其它	其它	其它	硅碳 电阻 元件	其它		液压
Z	组合 开关	自复	塑料 外壳 式			直流	综合	中间					制动		
2.3	设计代号	用数字,位数不限,其中两位及两位以上的首位数字为“9”表示船用,“8”表示防爆,“7”表示纺织用,“6”表示农业用,“5”表示化工用。类组代号与设计代号组成产品“系列”													
2.4	特殊派生代号	用汉语拼音字母,表示全系列在特殊情况下变化的特征,一般不予采用													
2.5	基本规格代号	用数字,位数不限													
2.6	派生代号	字 母		代 表 意 义											
		A、B、C、D…		结构设计稍有改进变化											
		C		插入式											
		J		交流、防溅式											

(续)

序号	项 目	说 明	
2.6	派生代号	字 母	代 表 意 义
		Z	直流,防震,正向,重任务,自动复位
		W	失压,无极性,出口用,无灭弧装置
		N	可逆,逆向
		S	三相,双线圈,防水式,手动复位,三个电源,有锁住机构
		P	单相,电压的,防滴式,电磁复位,两个电源
		K	开启式
		H	保护式,带缓冲装置
		M	灭磁,母线式,密封式
		Q	防尘式,手车式
		L	电流的,折板式,漏电保护
		F	高返回,带分励脱扣
X	限流		
2.7	辅助规格代号	最好用数字,位数不限	
2.8	热带产品代号	TH	湿热带
		TA	干热带
2.9	型号示例	低压断路器	<p style="text-align: center;">D Z 15 L-40 / 3902</p> <p>类组代号 (塑料外壳式低压断路器) ———— D Z</p> <p>设计代号 ———— 15</p> <p>特殊派生代号(漏电保护) ———— L-40</p> <p>基本规格代号(额定电流40A) ———— 40</p> <p>辅助规格代号(第一位表示极数,第二、三位表示脱扣方式“电磁脱扣”,第四位表示用途“保护电动机用”) ———— / 3902</p>
		低压熔断器	<p style="text-align: center;">RT 14 - 63</p> <p>类组代号 (有填料管式熔断器) ———— RT</p> <p>设计代号 ———— 14</p> <p>基本规格代号 (额定电流63A) ———— 63</p>

4. 电弧原理及开关电器的灭弧方法 如表 JC11-23 所示。

表 JC11-23 电弧原理及开关电器的灭弧方法

序号	项 目	说 明
1	开关触头间发生电弧的内因和条件	
1.1	发生电弧的内因	①触头本身为金属材料,其表面含有可被游离的大量电子;②触头周围的介质中也含有大量可被游离的电子
1.2	发生电弧的外部条件	触头之间的外施电压足够大,使电场强度达到触头间隙介质的击穿强度

(续)

序号	项 目	说 明
2	发生电弧的游离方式	
2.1	热电发射	当开关触头分断电流时,其阴极表面由于大电流逐渐收缩集中而出现炽热的光斑,温度很高,因而使触头表面的电子吸收足够的热能而发射到触头间隙中去,形成自由电子
2.2	高电场发射	开关触头分断之初,电场强度很大($E=U/l$,触头分断之初, l 极小,因此 E 极大),可使触头表面的电子被电场力强拉出去,使之进入触头间隙,也形成自由电子
2.3	碰撞游离	当开关触头间存在着足够大的电场强度时,其中自由电子以相当大的动能向阳极移动,在移动过程中碰撞到中性质点,可使中性质点的外层电子游离出来,从而使中性质点变成带电的正离子和自由电子。这些游离出来的带电质点在电场力的作用下,继续参加碰撞游离,结果使触头间介质中的离子数越来越多,形成“雪崩”现象。当离子浓度足够大时,介质击穿而发生电弧
2.4	热游离(高温游离)	电弧的温度很高,弧心温度可高达10000℃。在这样的高温下,电弧中的中性质点可游离为正离子和自由电子,从而进一步加强了电弧中的游离,这是电弧维持燃烧的主要因素
3	熄灭电弧的条件及去游离方式	
3.1	灭弧条件	必须使触头间电弧中的去游离速率大于游离速率
3.2	去游离方式	①正负带电质点的“复合”(重新结合为中性质点) ②正负带电质点的“扩散”(向电弧外围的介质扩散)
4	开关电器中常用的灭弧方法	
4.1	速拉灭弧法	迅速拉长电弧,使弧隙的电场强度快速下降,使离子的复合迅速增强,以加速电弧的熄灭。开关电器中装设的强力断路弹簧,目的就在于迅速拉长电弧。速拉灭弧是高低压开关电器最常用和最基本的灭弧方法
4.2	冷却灭弧法	降低电弧温度,使电弧中的热游离减弱,正负离子的复合增强,加速电弧的熄灭。例如使电弧在绝缘油中燃烧,或在石英砂中燃烧,或在灭弧栅中燃烧,均考虑了其冷却电弧的作用
4.3	吹弧灭弧法	利用外力(包括电磁力、磁力、油流或气流的压力等)来吹动电弧,使电弧迅速拉长,降低电弧中的电场强度,使离子的复合和扩散增强,加速电弧的熄灭
4.4	长弧切短灭弧法	由于电弧的电压降主要降落在阴极和阳极(特别是阴极)上,弧柱中的电压降是很小的,即电弧电压降可近似地看作是阴极和阳极的电压降。因此将长弧切成若干短弧,就相当于使电弧的电压降近似地增大了若干倍,当外施电压小于总的电弧电压降时,则电弧就不能维持而熄灭。铜灭弧栅就是用来将长弧切割为若干段短弧的
4.5	粗弧分细灭弧法	将粗大的电弧分细为若干并行的细小电弧,使电弧与周围介质的接触而增大,改善电弧的散热条件,降低电弧温度,从而使电弧中离子的复合和扩散增强,促使电弧迅速熄灭
4.6	狭沟灭弧法	电弧在狭沟内燃烧,由于冷却条件改善,使去游离增强,而且介质表面带电质点的复合也比较强烈,从而使电弧加速熄灭。绝缘灭弧栅及熔管内充石英砂都是利用了这一狭沟灭弧法
4.7	真空灭弧法	真空中没有(或极少)气体分子,因此不可能(或极少)有碰撞游离和热游离,主要只有由热电发射和高电场发射而产生的真空电弧。真空电弧通常在交流电流过零时即能熄灭。真空断路器就是利用了这一原理。由于真空灭弧容易,因此真空断路器适于频繁通断的场合

(八) 电气设备的额定值及外壳防护等级

1. **电气设备的额定电压** GB156—93《标准电压》的有关规定,如表 JC11-24~27 所示。其中的直流电压均为平均值,交流电压均为方均根值(有效值)。

**表 JC11-24 220V 至 1000V(1140V)的交流电力系统及电气设备的
标称电压值或额定电压值(据 GB156—93)**

系统标称电压/V	设备额定电压/V	备 注
220/380	220/380	①1140V 仅限于煤矿井下使用 ②表中有斜线“/”的数值,斜线之上为相电压,斜线之下为线电压。无斜线者为三线系统线电压
380/660	380/660	
1000(1140)	1000(1140)	

**表 JC11-25 3kV 及以上的交流三相系统的标称电压值
及电气设备的最高电压值(据 GB156—93)**

系统标称电压/kV	设备最高电压/kV	备 注
3	3.6	①括号中的数值为用户有要求时使用 ②电气设备的额定电压可从本表中选取,由产品标准确定
6	7.2	
10	12	
(20)	(24)	
35	40.5	
66	72.5	
110	126(123)	
220	252(245)	
330	363	
500	550	
(750)	(800)	
—	1200	

**表 JC11-26 交流 380V 及以下和直流 2000V 及以下
的电气设备的额定电压值(据 GB156—93)**

直流额定电压/V		交流额定电压/V	
优先值	补充值	优先值	补充值
—	1.2	—	—
1.5	—	—	—
2	—	—	—
—	2.4	—	—
3	—	—	—
—	4.5	—	—
—	5	—	5
6	—	6	—
—	9	—	—
12	—	12	—
—	15	—	15
24	—	24	—

(续)

直流额定电压/V		交流额定电压/V	
优先值	补充值	优先值	补充值
—	30	—	—
36	—	36	—
—	—	—	42
48	—	48	—
60	—	—	60
72	—	—	—
—	—	—	100
110	—	110	—
—	—	—	127
160	—	—	—
220	—	220	—
—	—	380	—
—	400	—	—
440	—	—	—
—	630	—	—
800	—	—	—
1000	—	—	—
—	1250	—	—
1500	—	—	—
2000	—	—	—

表 JC11-27 发电机的额定电压值(据 GB156—93)

交流发电机额定电压/V	直流发电机额定电压/V	备 注
115	115	与发电机出线端配套的电气设备额定电压,可采用发电机的额定电压,在产品标准中具体规定
230	230	
400	460	
690	—	
3150	—	
6300	—	
10500	—	
13800	—	
15750	—	
18000	—	
20000	—	
22000	—	
24000	—	
26000	—	

2. 电气设备的额定电流 GB762—80《电气设备额定电流》的规定,如表 JC11-28 所示。

表 JC11-28 电气设备的额定电流(据 GB762—80) (A)

1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8
10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80 (75)
100	125 (120)	160 (150)	200	250	315 (300)	400	500	630 (600)	800 (750)

(续)

1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8
1000	1250 (1200)	1600 (1500)	2000	2500	3150 (3000)	4000	5000	6300 (6000)	8000
10000	12500 (12000)	16000 (15000)	20000	25000					

注：括号内的值，仅限于老产品使用。

3. 电气设备的额定频率 GB1980—80《电气设备额定频率》的规定，如表 JC11-29 所示。

表 JC11-29 电气设备的额定频率(据 GB1980—80) (Hz)

电力供电系统及设备	舰船电气设备	航空电气设备	一般工业电气设备					
			通用电气设备	电热装置	机床电气设备	纺织电机	控制电机	电动工具
50	50	50	50	50	50	50	50	50
	—	—	—	—	—	(75)	—	—
	—	—	100	—	—	100	—	—
	—	—	—	—	—	133*	—	—
	—	—	150	150	150	150	—	150
	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	200	—	—	200	—	200
	—	—	—	—	—	(300)	—	300
	—	—	—	—	—	—	(330)	—
	400	400	400	400	400	400	400	400
	—	—	—	—	—	—	(427)	—
	—	—	—	(500)	—	—	(500)	—
	1000		600	—	—	—	—	—
			800	—	—	—	—	—
			1000	1000	1000	1000	1000	1000
			1500	—	1500	—	—	—
			—	—	2000**	—	—	—
			2500	2500	2500	—	—	—
			—	—	(3000)	—	—	—
			4000	4000	4000	—	—	—
			8000	8000	—	—	—	—
			10000	10000	—	—	—	—

注：1. 本标准不适用于下列设备及回路：a. 无级或有级调节频率的交流电气设备；b. 遥控及遥测技术和通信工程(有线通信、无线通信)设备；c. 铁道信号、自动闭塞装置及电传动机车内部控制回路；d. 单个机床或一组机床的内部控制回路。

2. 带括号的值，在设计新产品时不推荐采用。

3. 带“*”号者仅限于人造纤维的纺织用；带“**”号者仅限于轴承磨削用。

4. 额定频率的允许偏差值规定下列六种，按电气设备的需要来选用：±0.2%；±0.5%；±1%；±2%；±5%；±10%。电力供电系统及设备，其额定频率的允许偏差值规定为±1%。

4. 电气设备外壳防护等级的分类 GB4208—84《外壳防护等级的分类》的规定,如表 JC11-30 所示。

表 JC11-30 电气设备外壳防护等级的分类(据 GB4208—84)

序号	项 目	说 明	
1	外壳防护代号 组成格式及含义		
2	第一位 特征数字	0	无防护
		1	防大于 50mm 的固体异物侵入
		2	防大于 12mm 的固体异物侵入
		3	防大于 2.5mm 的固体异物侵入
		4	防大于 1mm 的固体异物侵入
		5	防尘
		6	尘密
3	第二位 特征数字	0	无防护
		1	防滴
		2	15°防滴
		3	防淋水
		4	防溅水
		5	防喷水
		6	防猛烈海浪
		7	防漫水影响
		8	防潜水影响

注:1. 如仅需用一个特征数字表示防护等级时,被省略的数字必须用字母 X 代替。
2. 各特征数字的详细含义可参看文献[11]表 ZL16-11。

主要参考文献

- 1 机械工程手册,电机工程手册编委会编. 电气工程师手册. 北京:机械工业出版社,1987
- 2 机械工程手册,电机工程手册编委会编. 电机工程手册第 4 卷. 北京:机械工业出版社,1982
- 3 中国大百科全书电工编委会编. 中国大百科全书 电工卷. 北京、上海:中国大百科全书出版社,1992
- 4 中国国家标准分类汇编 电工卷. 北京:中国标准出版社,1993
- 5 贺天枢,赵叔玉主编. IEC 电工电子标准术语词典. 北京:中国标准出版社,1992
- 6 李发海,王岩编著. 电机与拖动基础. 北京:清华大学出版社,1994
- 7 沈裕康,严武昇,杨庚辰编. 电机与电器. 北京:北京理工大学出版社,1994
- 8 贺湘琰主编. 电器学. 北京:机械工业出版社,1985
- 9 刘介才编. 电工产品学(讲义). 1985
- 10 刘介才编. 工厂供电(第 2 版). 北京:机械工业出版社,1991
- 11 刘介才主编. 工厂供电简明设计手册. 北京:机械工业出版社,1993
- 12 刘介才编著. 工厂供电 500 问答. 北京:兵器工业出版社,1994
- 13 机械行业标准 JB/T3837—92 变压器类产品型号编制方法. 北京:机电部机械标准化研究所,1993

十二、发电厂和电力系统基础 (JC12)

(一) 常用的发电厂和电力系统名词术语

供电技术中较常用的发电厂和电力系统名词术语, 如表 JC12-1 所示。

表 JC12-1 常用的发电厂和电力系统名词术语

序号	名词术语	含义说明
1	发电厂 power plant, power station	指利用自然界蕴藏的各种能源来生产电能的工厂, 又称“发电站”, 简称“电厂”或“电站”
2	火电厂 thermal power plant	指利用煤、石油、天然气等固体、液体或气体燃料燃烧所产生的热能来生产电能的工厂。全称“火力发电厂”, 又称“火电站”
3	热电厂 steam supply and power generating plant	指在发电的同时, 还利用汽轮机的抽汽或排汽为用户供热的火电厂。全称“热力发电厂”, 又称“热电站”
4	水电站 hydropower station	指利用水流的位能来生产电能的工厂。全称“水力发电站”或“水力发电厂”, 或简称“水电厂”
5	核电站 nuclear power station	指利用核反应所产生的热能来生产电能的电站。全称“核热力发电站”或“核能发电站”, 亦称“原子能发电站”
6	太阳能电站 solar power plant	指利用太阳辐射的热能或光能来生产电能的电站。利用太阳辐射的热能的电站, 称为“太阳热能发电站”; 利用太阳辐射的光能的电站, 称为“太阳光能发电站”
7	地热电站 geothermal power station	指利用地下热水、高温岩体或蒸汽等热能来生产电能的电站。全称“地下热能发电站”
8	风力电站 wind power station	指利用风力的动能来生产电能的电站。全称“风力发电站”
9	潮汐电站 tidal power station	指利用海洋潮汐能来生产电能的电站。全称“潮汐能发电站”
10	沼气电站 methane power station	指利用沼气作燃料的火电站。沼气是有机物质在一定温度、湿度、酸碱性并隔绝空气的条件下, 经微生物发酵分解而产生的一种可燃性气体, 因为它是最早在沼泽中发现而得名。沼气的主要成分是甲烷 (CH ₄), 此外还有二氧化碳 (CO ₂)。它无色、无臭、无毒, 密度约为空气的 55%, 难溶于水, 易燃, 1m ³ 沼气的发热量为 35657kJ
11	列车电站 train-borne power station	指发电设备安装在特种铁路车辆上的移动式发电站。它可按要求迅速转移到铁路能到达的任何地点, 对当地进行紧急供电
12	柴油发电机组 diesel generator set	指以柴油机为原动机, 拖动同步发电机发电的一种电源设备。这是一种起动迅速、操作维修方便、投资少、对环境的适应性强的发电装置, 因此, 在大电力系统供电范围以内的用电户, 通常采用柴油发电机组作为应急备用电源; 在大电力系统电力输送不到的地方以及一些流动用户, 则采用柴油发电机组作为正常照明、动力和通信电源。将机组安装在火车、轮船或汽车拖车上, 就成为“移动电站”, 可用于工程施工、野外作业。在农村, 柴油发电机组也应用广泛

(续)

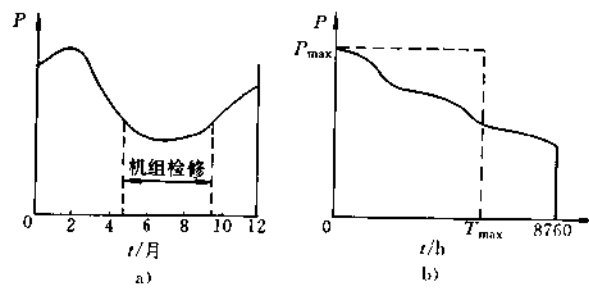
序号	名词术语	含义说明
13	余热发电 waste heat generating	指利用生产过程中多余的热能转换为电能的技术,其原理与火力发电相同。余热发电不仅可节约能源,还有利于环境保护
14	垃圾发电 garbage to power generation	指将城市垃圾燃烧所产生的热能转换为电能的技术,属火力发电的一种。垃圾发电是处理城市垃圾、保护环境的一条较好的途径。一些工业发达国家都注意兴建垃圾电站。我国现在在深圳市兴建了我国第一座垃圾电站,日处理垃圾 300t,发电功率 500kW
15	电力系统 power system	指由发电、输电、变电、配电和用电等环节组成的电能生产与消费的系统,其功能是将自然界的一次能源通过发电设备转化为电能,再通过输电、变电和配电将电能供应到各用户
16	动力系统 dynamic system	指电力系统加上发电厂的动力部分(如火电厂的锅炉、汽轮机和水电站的水库、堤坝、水轮机等)的整体
17	电网 electric network, power network	指电力系统中的输电、变电和配电部分,即电力系统中除发电和用电以外的整体。全称“电力网络”或“电力网”。有时也将某一电压级的所有相联系的线路称为“电网”或“系统”
18	线路 line	指传输电能及电信号的通路。全称“电气线路”,或称“电路”
19	配电 power distribution	指电力系统中直接与用户相连、并向用户分配电能的环节。配电系统由配电变电所及配电线路组成
20	配电线路 distribution line	指向用户变电所或配电所及用电设备配电(或称供电)的线路。1kV 以上至 10kV 的配电线路,称为“高压配电线路”。1kV 及以下的配电线路,称为“低压配电线路”
21	输电 power transmission	指发电机发出的电能通过变压器升压后向用电负荷区域输送的过程。输电是电力系统整体功能的重要组成环节
22	输电线路 transmission line	指发电机发出的电能经变压器升压后向用电负荷区域输送的各级电压线路。按输送电流的性质,分交流输电线路和直流输电线路。按电压等级,分高压、超高压和特高压等输电线路。高压输电线路通常指 35~220kV 的线路,超高压输电线路通常指 330~750kV 的线路,特高压输电线路通常指 1000kV 及以上的线路。但上述分法并非国家标准明文规定,也不是绝对的,例如 220kV 也有划为超高压电压级的
23	变电所 transformer substation	指电力系统中对电能的电压和电流进行变换、集中和分配的场所。简言之,变电所的功能为受电—变电(通常为变压)—馈电(输电或配电)。变电所亦称“变电站”
24	配电所 distribution substation	指电力系统中对电能进行集中和分配的场所。简言之,配电所的功能为受电—馈电。配电所与变电所的区别在于:①配电所没有电力变压器;②配电所进出线属同一电压等级。由于配电所主要设备是一些开关电器,因此电力系统中的配电所通常称为“开关站”或“开闭所”。配电所亦称“配电站”
25	电力系统中性点 neutral point of power system	指电力系统中发电机和电力变压器的三相绕组作星形联结时的中性点
26	电力系统运行 operation of power system	指电力系统的所有组成环节执行其功能的过程,即电能生产、传输、变换、分配和应用的过程。电力系统的运行状态,分正常状态和异常状态两种。正常状态又分安全状态和警戒状态;异常状态又分紧急状态和恢复状态

(续)

序号	名词术语	含义说明
27	电力系统调度 management of power system	指电力系统为保证安全、可靠、优质、经济合理地运行而采取的调整负荷,提高设备利用率,合理地利用各种能源,实施经济运行,降低煤耗、厂(所)用电和电网损耗,以获得最大经济效益的措施
28	电力系统稳定 power system stability	指电力系统在正常运行时,经受干扰而不发生非同步运行、频率崩溃(即频率恶性下降事故)和电压崩溃(即电压恶性下降事故)的能力。从狭义的观点看,电力系统稳定单指不发生非同步运行。从广义的观点看,电力系统稳定还包括其稳定破坏后,系统进入非同步运行状态,而后在满足一定条件下,再同步成功,又恢复同步运行的全过程
29	电力系统振荡 power system oscillation	一般指电力系统受到扰动或调节控制的诱发,由本身的电磁特性和机械特性而产生的一种动态过程,表现为电力系统中发电机的转速、并列运行的发电机间的相对角度、系统的频率、母线上的电压及支路中的电流和功率产生波动而偏离正常值,振荡中心的电压有大幅度的下降,电力系统的振荡与电力系统稳定密切相关。如果电力系统振荡后,振荡能在有限时间内自行衰减,使系统恢复稳定运行,则这种振荡称为“同步振荡”,该系统称为“稳定系统”。如果电力系统振荡后,振荡不能自行衰减,在采取调节控制措施后,系统才有可能恢复稳定运行,甚至不能恢复稳定运行,则这种振荡称为“非同步振荡”,该系统称为“不稳定系统”
30	电力系统远动 power system telemechanics	指为电力系统调度(序号27)服务的远距离监测、控制技术。利用远动技术将各个厂、所、站的运行工况(包括开关状况、设备的运行参数等)转换为便于传输的信号形式,加上保护措施以防止传输过程中的外界干扰,经过调制(序号31)后,由专门的信息通道传送到调度所。在调度所的中心站经过解调(序号32),还原为原来对应于厂、所、站工况的一些信号再显示出来,供给调度人员监控之用。调度人员的一些控制命令也可通过类似过程传送到远方厂、所、站,驱动被控对象。这一过程实际上涉及遥测、遥信、遥调、遥控。因此,远动技术是“四通”的结合(详见表ZY8-17)
31	调制 modulation	指一种使一个信号(如电振荡等)的某些参数(如振幅、频率等)按照另一个信号(调制信号,如声信号、电视信号等)的变化规律而变化的措施。在电信方面,为了便于传送信息,常用调制信号(即所需传送的信号)去改变一个等幅振荡或一串脉冲的振幅、频率、相位或持续时间等。已调制后的振荡或一串脉冲(称为“已调波”)就载有调制信号所包含的信息,因而这个被调制的高频振荡(或一串脉冲)称为“载波”。如果载波为等幅振荡,则调制方法有调幅、调频和调相等。如果载波为一串脉冲,则调制方法有脉幅调制、脉宽调制和脉位调制等
32	解调 demodulation	指从已调波中,经过与调制相反的过程,使原来的调制信号重现的过程,又称“反调制”。实现解调任务的装置,称为“解调器”
33	能源 energy resources	指能量资源,即能够产生能量(如机械能、热能、电磁能、化学能等等)的物质资源。按能源的形成可分一次能源和二次能源两大类
34	一次能源 primary energy	指自然界中以原有形式存在的、未经任何加工转换的能量资源,又称“天然能源”。包括原煤、油页岩、原油、天然气、核燃料、生物质能、水能、风能、太阳能、地热能、海洋能、潮汐能等。一次能源按其原始来源可分三大类:①来自地球以外天体的能量,包括来自太阳和其它天体的能量,如太阳能、水能、风能、海洋能、生物质能、原煤、石油、天然气、油页岩等;②来自地球本身的能量,如核燃料、地热能等;③地球与其它天体相互作用而产生的能量,如潮汐能。一次能源按其能否再生而分为再生能源和非再生能源:①再生能源,指能重复产生的天然能源,如太阳能、水能、风能、海洋能、生物质能、潮汐能等;②非再生能源,指不能重复产生的天然能源,如煤炭、石油、天然气、油页岩和核燃料铀、钍等

(续)

序号	名词术语	含义说明
35	二次能源 secondary energy	指由一次能源直接或间接加工转换而成的其它种类和形式的能源以及人工制造的能源, 又称“人工能源”。包括加工煤(如焦炭)、煤气、人造石油、人造天然气、汽油、煤油、柴油、重油、电能、蒸汽、热水、沼气、余热、酒精、甲醇、丙烷、氢气、激光、火药等。电能是二次能源中应用最广、最为方便清洁的一种, 它对国民经济的发展和人民生活水平的提高起着特殊的作用
36	新能源 new energy resources	指新发现的或发现时间虽久但因技术经济条件限制未得到广泛应用的能源, 如太阳能、风能、海洋能、地热能、氢气、沼气等。新能源是相对于常规能源而言的
37	经济运行 economic operation	指在给定负荷要求并保证电力系统安全、可靠和电能质量的前提下, 通过恰当地分配电厂或发电机组的出力, 使电能的生产和分配过程中所需的成本为最低的运行方式。确定电力系统的经济运行方式是电力系统运行调度中最经常的中心任务之一
38	无功补偿 reactive power compensation	①指从总体上使无功功率在电力系统中的传输达到最优化的措施 ②在电力系统中的变电所或在用户变电所装设无功功率电源(如并联电容器、同步调相机等), 以改变电力系统中无功功率的流动, 从而提高电力系统的功率因数和电压水平, 减少功率损耗和改善系统的动态性能, 这种技术措施称为“无功功率补偿”, 简称“无功补偿”
39	负荷管理 load management	指用经济的、技术的和行政的手段来控制电力系统负荷的增长速度及调整电力系统的负荷曲线(序号40)以求得最佳的经济效益。①经济措施: 主要是采用分部电价的办法, 将系统尖峰负荷的电价提高到低谷负荷时的电价的几倍以上, 以鼓励用户避开负荷高峰用电。另外规定各个用户的最高用电量, 对超过部分提高电价。②技术措施: 主要是使电力系统联网。由于系统各部分的最大负荷出现时间错开, 有一个“错峰效应”, 因此联网越大, 越能充分利用整个系统中发电设备的容量, 起“削峰填谷”的作用。另一措施是在系统出现尖峰负荷时, 自动切除一些不重要负荷。③行政措施: 大力宣传节约用电, 实行计划用电, 对各个用户限定全月(或年)的用电量及允许的最大功率; 错开大企业的上班时间; 工厂实行轮休日制度; 某些企业推行深夜上班制度; 要求工厂在系统尖峰负荷时安排检修等等
40	负荷曲线 load curve	指电力负荷随时间变化的曲线。负荷曲线的横坐标是时间, 纵坐标一般是有功功率, 因此通常的负荷曲线是有功功率负荷曲线。但为了了解无功功率的变化情况, 以便考虑无功补偿, 因此也有无功功率负荷曲线。按时间分, 有日负荷曲线、月负荷曲线、年负荷曲线和班(通常取最大负荷班)负荷曲线。年负荷曲线通常有两种形式: ①年最大负荷曲线, 表示从年初到年末逐日(或逐月)的最大负荷变化情况, 可用来供安排机组检修计划参考。如图 a 所示。②年持续负荷曲线, 是以全年负荷的大小及其持续运行时数的顺序排列作出的曲线, 如图 b 所示



(续)

序号	名词术语	含义说明
41	年最大负荷利用小时 utilization hours of annual maximum load	指电力负荷如按年最大负荷 P_{\max} (参看序号 40 图 b) 持续运行时所消耗的电能 W 。恰好等于该负荷全年实际消耗的电能的一个假想时间, 即 $T_{\max} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{W_a}{P_{\max}}$ 年最大负荷利用小时是反映电力负荷特征的一个重要参数, 与工厂的生产班制有关, 一班制工厂, $T_{\max} = 1800 \sim 2500\text{h}$; 二班制工厂, $T_{\max} = 3500 \sim 4500\text{h}$; 三班制工厂, $T_{\max} = 5000 \sim 7000\text{h}$ 。简称“最大负荷利用小时”
42	年最大负荷损耗小时 loss hours of annual maximum load	指电力系统中的元件(线路、电力变压器等)如持续通过最大负荷电流所产生的电能损耗恰等于该元件全年实际的电能损耗时的一个假想时间, 简称“年损耗时间”, 用 t 表示
43	发电容量 generated capacity	指发电机额定容量(额定功率)。一个地区或全国范围内的发电容量, 即其所有发电机额定容量(额定功率)的总和, 常用单位为“千瓦”(kW)或“兆瓦”(MW)。亦称“装机容量”
44	发电量 generated energy	指一定时间内(通常取一年)发出的(生产的)电能, 常用单位为“千瓦·时”(kW·h, 俗称“度”)
45	出力 output	指电气设备的输出功率, 常用单位为“千瓦”(kW)
46	中性导体 neutral conductor	指由电力系统中性点引出的用以传导电流的导体, 简称“N 导体”或“N 导线”
47	保护导体 protective conductor	指为满足某些触电保护措施的需要, 用来与外露可导电部分、外界可导电部分、主接地端子、接地极、电源接地点或其它人工接地点作电气连接的导体, 简称“PE 导体”或“PE 导线”
48	保护中性导体 (PEN 导体)	指具有中性导体和保护导体两种功能的接地导体, 简称“PEN 导体”或“PEN 导线”, 通称“零线”(参看 ZY9-1 序号 38)

(二) 水电站

1. 水电站的类型 如表 JC12-2 所示。

表 JC12-2 水电站的类型

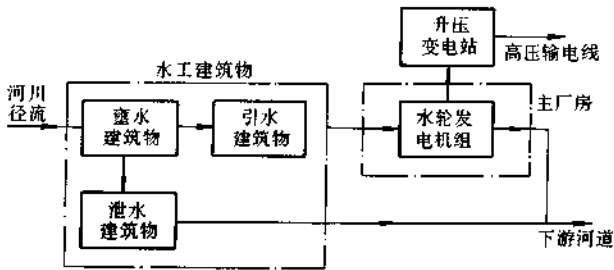
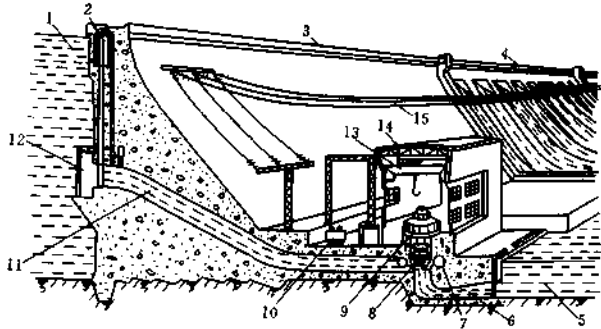
序号	类别	说明
1	按电站结构及水能开发方式分类	
1.1	引水式水电站	利用低坝拦截河川水流, 然后通过引水渠将水引进厂房, 驱动水轮发电机组发电。这种水电站多为高水头电站
1.2	坝坝式水电站	利用在河川上筑起高坝, 拦河蓄水, 以获得足够的水头(水位差, 又称“落差”)来驱动水轮发电机组发电
1.3	混合式水电站	即引水式与坝坝式相结合的一种水电站。由拦河坝和引水渠共同提高水头

(续)

序号	类别	说明
2	按电站性能及水流调节程度分类	
2.1	径流式水电站	指对天然径流(水流)过程不作任何人为改变,发电量仅依天然来水决定的电站。这种电站虽建有堤坝,但库容很小,不能起有效调节水量的作用,丰水时弃水很多,枯水时又无足够的蓄水发电,因此又称“无调节水电站”
2.2	水库式水电站	指利用大型水库蓄水来发电的电站。这种电站的库容能对径流进行调节,丰水时发电并蓄水,枯水时则利用蓄水发电,因此这种电站对水流能量的利用程度高
3	按电站厂房布置位置分类	
3.1	坝后式水电站	电站厂房设在大坝下游一侧的地面上
3.2	坝内式水电站	安装发电机组的主厂房建筑在大坝内预留的洞内
4	按主机布置方式分类	
4.1	地面式水电站	安装发电机组的主厂房建在地面上
4.2	地下式水电站	安装发电机组的主厂房建在地面下

2. 水电站的组成、设备及能量转换关系 如表 JC12-3 所示。

表 JC12-3 水电站的组成、设备及能量转换关系

序号	项目	说明
1	水电站的组成框图	
2	水电站(堤坝式)结构示意图	 <p>1—上游水库 2—进水闸门 3—拦河大坝 4—溢流坝段 5—下游 6—尾水管 7—蜗壳室 8—水轮机 9—发电机 10—升压变压器 11—进水管 12—拦污栅 13—起重机 14—水电站厂房 15—高压输电线路</p>
3	水工建筑物	<p>主要功能是拦截水流,提高水位(即所谓“壅水”),形成有调节能力的水库,泄放调蓄后多余的水量及非正常的洪水,提供运行厂房和水道系统。它包括以下部分:①壅水建筑物,这是堤坝式水电站的主要水工建筑物,核心建筑为大坝。②引水建筑物,它包括进水和输水两部分。③泄水建筑物,它包括溢洪坝、溢流坝、泄水坝、泄洪隧道及电站的尾水渠道等</p>

(续)

序号	项 目	说 明
4	厂房	厂房的形式与规模决定于电站的主要参数(如水头、流量、装机容量、机组数及机组类型等)和自然条件(如水文、气象、地形、地质等)以及其它特殊要求。主厂房中安置水轮发电机组等发电动力装置的主要设备,其常见形式有地面户内式、河床式、露天式、地下式、坝内式、溢流式等
5	发电动力装置	主要包括水轮发电机组及其辅助设备,机组由水轮机和发电机组组合而成。由于不同类型的水轮机适用于不同的水头,所以各水电站应根据具体条件选用适当型式的水轮机。应用最广的是混流式反击水轮机,其应用的水头范围较宽(300~700m),单机容量最大达70万kW。切击式冲击水轮机也能用于高水头、大容量,至80年代,其应用的水头最高达1763.5m。其它型式机组还有轴流式转桨水轮机、贯流式水轮机、可逆水轮机等。辅助设备包括冷却装置、制动装置、调速装置等
6	电气一、二次系统	电气一次系统是由发电机、变压器、断路器、隔离开关、互感器、避雷器、消弧线圈等一次设备通过主结线联成的一个整体,其主要功能是安全、经济地发电,可靠、灵活地汇集和分配电能 电气二次系统是以计算机为核心的监测、控制、保护系统,其主要功能是监测、控制电气一次系统的运行,保证电能质量,并在电工设备出现异常和事故时自动报警或切除故障
7	能量转换关系	能量转换过程如下图所示: <div style="text-align: center;"> <pre> graph LR A[水流位能] -- 经水轮机 --> B[机械能] B -- 经发电机 --> C[电能] </pre> </div> <p>水电站的出力 P (kW) 与水流流量 Q (m^3/s) 及水头 H (m) 的关系式为</p> $P = KQH$ <p>式中 K 为出力系数,一般取 8.0~8.5</p>

(三) 火电厂

1. 火电厂的类型 如表 JC12-4 所示。

表 JC12-4 火电厂的类型

序号	类 别	说 明
1	按燃料类别分类	
1.1	燃煤式火电厂	指燃料为煤的火电厂。我国以此种类型最多
1.2	燃油式火电厂	指燃料为石化油的火电厂
1.3	燃气式火电厂	指燃料为天然气等可燃气体的火电厂
1.4	废热式火电厂	指利用工业废料如甘蔗渣、木屑等及城市垃圾或工业余热来发电的火电厂
2	按电厂功能分类	
2.1	一般火电厂	指只生产和供应电能的火电厂
2.2	热电厂	指除生产和供应电能外还供应热能的火电厂
3	按电厂规模及服务范围分类	
3.1	区域性火电厂	其装机容量大,输电距离远。一般建在燃料基地附近。建在煤矿区的电厂,又称“坑口电厂”

(续)

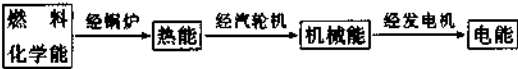
序号	类别	说明
3.2	地方性火电厂	它一般建在负荷中心或其附近,对用户输电距离短,但燃料运输需经长距离
3.3	列车电站	参看表 JC12-1 序号 11
4	按蒸汽压力分类	
4.1	低压火电厂	蒸汽初压强为 $(1.2\sim 15) \times 10^5 \text{Pa}$
4.2	中压火电厂	蒸汽初压强为 $(20\sim 40) \times 10^5 \text{Pa}$
4.3	高压火电厂	蒸汽初压强为 $(60\sim 100) \times 10^5 \text{Pa}$
4.4	超高压火电厂	蒸汽初压强为 $(120\sim 140) \times 10^5 \text{Pa}$
4.5	亚临界压火电厂	蒸汽初压强为 $(160\sim 180) \times 10^5 \text{Pa}$ (注:水蒸气的临界压强为 $225.65 \times 10^5 \text{Pa}$)
4.6	超临界压火电厂	蒸汽初压力大于 $226 \times 10^5 \text{Pa}$

2. 火电厂的组成、设备及能量转换关系 如表 JC12-5 所示。

表 JC12-5 火电厂的组成、设备及能量转换关系

序号	项目	说明
1	燃煤式火电厂的组成及生产过程示意图	
2	火电厂的组成部分 燃料系统	指完成燃料的输送、储存、制备的系统。燃煤电厂具有煤场、送煤带、磨煤机等设备。燃油电厂备有油罐、油泵及输油管道等设备

(续)

序号	项 目	说 明
2	火电厂的组成部分	燃烧系统 指完成燃料燃烧过程、使燃料化学能转化为蒸汽热能的系统,主要包括锅炉炉膛、送风机、排风机、除尘器、除灰设施及烟囱等
		汽水系统 指完成蒸汽热能转化为机械能的系统,主要有锅炉的汽水部分、汽轮机及其辅助设备(如凝汽器、循环水系统等)
		电气系统 指完成机械能转化为电能的系统,主要有发电机、主变压器、断路器、隔离开关、母线等
		控制系统 指完成电厂生产过程中的各种参数测量及自动监控操作的系统,包括各种测量仪表、继电保护及自动化装置
3	火电厂的主要设备	火电厂中最主要的设备是锅炉、汽轮机和发电机等三大件
4	火电厂的能量转换过程	 <pre> graph LR A[燃料化学能] -- 经锅炉 --> B[热能] B -- 经汽轮机 --> C[机械能] C -- 经发电机 --> D[电能] </pre>

(四) 核电站

1. 核电站的类型 如表 JC12-6 所示。

表 JC12-6 核电站的类型

序号	类 别	说 明
1	核电站按反应堆型分类	
1.1	气冷堆型核电站	反应堆采用天然铀作燃料,用石墨作慢化剂,用二氧化碳或氦作冷却剂。此种反应堆由于一次装入燃料多,因此体积大,造价高。英国首先采用此种堆型,后来法国也曾采用
1.2	改进型气冷堆型核电站	反应堆所用慢化剂和冷却剂与上述气冷堆型相同,只是燃料采用2.5%~3%的低浓缩铀,因此一次装入燃料量只有天然铀的1/5~1/4(按质量计),从而反应堆体积大大缩小,更换燃料也较简便,并可在较高温度下运行,热效率较高。美国、前联邦德国曾建有此种堆型
1.3	轻水堆型核电站	反应堆采用2%~3%低浓缩铀作燃料,而用水作慢化剂和冷却剂。此种反应堆的体积小,造价低,技术也较易掌握,因此目前世界上的核电站,85%以上均采用此种堆型,我国全部采用此种堆型
1.4	重水堆型核电站	反应堆以重水(含氘)作慢化剂和冷却剂,用天然铀作燃料。此种反应堆的燃料成本较低,但重水较贵。加拿大发展此种堆型
1.5	快中子增殖型核电站	反应堆不用慢化剂。反应堆内绝大部分都是快中子,容易为反应堆周围的铀238所吸收,使铀238转变为可裂变的钚239。此种反应堆可在10年左右使核燃料钚239比初装入量增殖20%以上。但其初投资费高。目前国外已有少数此种堆型核电站在试运行。此种堆型核电站被认为是核电站的一个发展方向

(续)

序号	类别	说明
1.6	热核反应堆型核电站	<p>热核反应即核聚变反应。目前的核电站，全部为核裂变反应型，利用一些重金属元素如铀、钚的原子核发生裂变放出的巨大能量来发电。核裂变能现已能完全控制和利用。而核聚变是利用一些轻元素如氢的同位素氘和氚等的原子核聚合成较重的原子核如氦，从而放出比核裂变更为巨大的能量。然而核聚变的控制难度极大，其控制和利用技术尚在研究之中，因此热核反应堆型核电站目前尚无，属发展远景而已</p>
2	轻水堆型核电站的分类	
2.1	沸水堆型核电站	<p>这种核电站中的水在反应堆内直接沸腾，故名。它只有一个回路，水在反应堆内受热变为蒸汽，直接用来推动汽轮机、带动发电机发电，如下图所示。沸水堆型的回路设备少，且几乎不会发生失水事故，较之压水堆型更经济，更能适应外界负荷变化的需要。但其带放射性的蒸汽直接进入汽轮机组，使机组维修困难，检修时停堆时间增长，从而影响核电站的有效运行；此外，水沸腾后，密度降低，慢化作用减弱，因此所需核燃料比同功率的压水堆型多，其堆芯体积和压力外壳直径相应增大。加上气泡密度在堆内变化，容易引起功率不稳定，使控制复杂化。由此种种因素，使沸水堆型核电站的建造数量减少，初期几乎与压水堆型核电站的建造数量相等，而到80年代末，在建的沸水堆型只有压水堆型的25%，处于订货中的只有压水堆型的13%</p>
2.2	压水堆型核电站	<p>这种核电站中的水在反应堆内不沸腾。它有两个回路，其一回路的水流经反应堆，将堆内的热量带往蒸汽发生器，与通过蒸汽发生器的二回路中的水交换，使二回路的水加热变为高压蒸汽，推动汽轮机、带动发电机发电，如下图所示</p> <p>我国的核电站建设方针，确定近期以建造压水堆型为主。我国已建成的秦山核电站和大亚湾核电站，均为压水堆型</p>

2. 压水堆型核电站的组成、设备及核电站的能量转换关系 如表 JC12-7 所示。

表 JC12-7 压水堆型核电站的组成、设备及核电站能量转换关系

序号	项目	说明	
1	压水堆型核电站的组成示意图		
2	核电站的组成部分及设备	核岛	核岛为核电站的核心部分,主要部件为核反应堆、压力容器(压力壳)、蒸汽发生器、主循环泵、稳压器及相应的管道、阀门等组成的一回路系统
		常规岛	指由蒸汽发生器的二次侧、汽轮发电机组、凝汽器、给水泵及相应的管道、阀门等组成的二回路系统
		核电站配套设施	指围绕确保核电站安全及环境保护而设置的一些设施,主要包括:①反应堆控制系统和紧急停堆系统;②堆芯应急冷却系统;③安全壳顶部设置的冷水喷淋系统;④容积控制系统,这主要用于调节主冷却剂的含硼量及容积变化;⑤化学控制系统,这主要用于控制一回路冷却剂的含氧量和 pH 值、抑制有关设备和材料的腐蚀性;⑥其它系统,例如余热导出系统、冷却剂净化系统、三废(废气、废液、废渣)处理系统等
3	核电站的安全防护措施	<p>为确保核电站安全及环境保护,防止放射性物质逸出,核电站对核燃料及有关部分设置了三道严密可靠的屏障(参看右图);图中①为第一道屏障,为燃料元件包壳,包壳由锆合金管或不锈钢管制成,核燃料芯密封于包壳内。②为第二道屏障,为压力壳,这是反应堆冷却剂压力边界,由一回路和反应堆压力容器组成。壳体是一层厚合金钢板(通常功率为 30 万 kW 的压水堆,压力壳壁厚 160mm; 90 万 kW 的压水堆,压力壳壁厚超过 200mm),其功用是燃料包壳密封万一损坏,放射性物质泄漏到水中,也仍然处在密封的一回路中,受到压力壳的屏障。③为第三道屏障,为安全壳,或称反应堆厂房。它是一座顶部呈球面的预应力钢筋混凝土建筑物,其壁厚约 1m,内衬 6~7mm 厚钢板。一回路的设备都安装在安全壳内,具有良好的密封性能,即使在严重事故情况下例如一回路管道损坏或遭遇地震等,也能确保放射性物质不致外泄,不会使核电站周围环境受到核放射污染</p>	
4	核电站的能量转换关系		

(五) 其它发电方式

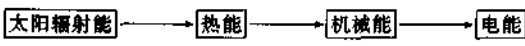
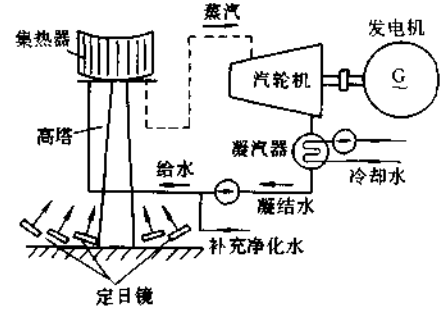
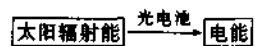
发电方式除上面介绍的水电、火电和核电外,其它还有风力发电、地热发电、太阳能发

电、海洋能发电、生物质能发电、垃圾发电等等，其中风力发电、地热发电及太阳能发电简介如表 JC12-8 所示。

表 JC12-8 风力发电、地热发电及太阳能发电简介

序号	项 目	说 明
1	风力发电	
1.1	风力发电的特点	<p>①风能(即风力的动能)的能量密度(即与风向垂直的单位面积内单位时间所承受的风能)较低,因此风轮机体积较大,造价较高,而单机容量也不能做得很大</p> <p>②风能是一种随机性能源,且具有间歇性,因此必须与一定的蓄能方式相结合才能实现连续供电</p>
1.2	风力电站的组成	<p>①能量转换装置:包括风轮机和发电机等,有时在风轮机与发电机之间还装有升速传动装置</p> <p>②蓄能装置:为保证连续供电而设,有抽水蓄能、压缩空气蓄能、飞轮蓄能、风力致热蓄能、蓄电池蓄能等多种蓄能方式</p> <p>③控制系统:包括调速系统、励磁调节系统等,以保证电能的频率和电压稳定</p>
1.3	风力发电能量转换装置示意图	<p>The diagram illustrates the energy conversion process in a wind turbine. It starts with '风能' (Wind Energy) entering a '风轮机' (Wind Turbine). The turbine is connected to a '调速系统' (Speed Control System). The mechanical energy then flows to a '升速传动装置' (Speed-increasing Device), which is also connected to another '调速系统'. The final mechanical energy is converted into '电能' (Electricity) by a '发电机' (Generator), which is connected to an '励磁系统' (Excitation System).</p>
2	地热发电	
2.1	地热发电的特点	<p>①地热发电的热效率低,但不消耗燃料,运行费用低</p> <p>②地热发电不会排放大量灰尘和烟雾;但地下热水和蒸汽中大都含有硫化氢、氨、砷等有害物质,因此对它排出的热水要妥善处理,以免污染环境</p>
2.2	地热电站的发电方式	<p>蒸汽型(单回路)</p> <p>The diagram shows a single-loop system. '来自地热井' (From geothermal well) steam goes to a '分离器(或过滤器)' (Separator/Filter). The '蒸汽' (Steam) then drives a '汽轮机' (Turbine) connected to a '发电机' (Generator). The '排汽' (Exhaust steam) goes to a '凝汽器' (Condenser) which uses '冷却水' (Cooling water). The resulting '凝结水' (Condensate) is pumped back to the well.</p> <p>热水型(双回路)</p> <p>The diagram shows a double-loop system. '来自地热井' (From geothermal well) '湿蒸汽或热水' (Wet steam or hot water) enters a '蒸汽发生器' (Steam generator). This heats a secondary loop of water, which turns into '蒸汽' (Steam) to drive the '汽轮机' (Turbine) and '发电机' (Generator). The '排汽' (Exhaust steam) goes to a '凝汽器' (Condenser) with '冷却水' (Cooling water). The '凝结水' (Condensate) is pumped back to the steam generator.</p>
3	太阳能发电	
3.1	太阳能电站类型	根据能量转换的形式,太阳能电站分为:太阳热能发电站和太阳光能发电站

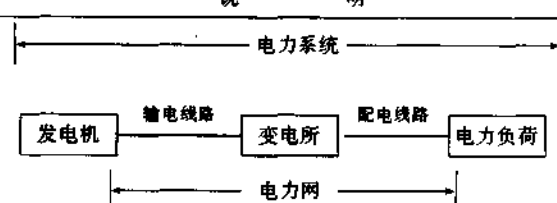
(续)

序号	项 目	说 明
3.2	能量转换关系	
	集中型太阳能电站	利用集热器将太阳能集中起来, 通过热交换器, 给水加热, 使之变为蒸汽, 推动汽轮机、带动发电机发电
	集中型高塔式太阳能电站示意图	
	分散型太阳能电站	电站有许多集热单元, 通过热交换器, 给水加热, 使之变为蒸汽, 然后将蒸汽集中起来, 用于推动汽轮机、带动发电机发电
	盐池式太阳能电站	利用天然盐池收集太阳能, 用以给水加热并发电
3.3	能量转换关系	
	电站的组成	<p>①太阳电池方阵: 由许多块太阳电池(光电池)组成, 均安装在能自动地跟踪阳光的跟踪器上</p> <p>②电源调节系统: 主要包括逆变器和蓄电池充电器, 逆变器用来将电池方阵发出的直流电变为交流电, 蓄电池充电器用来补偿电压调节、限流调节和保护输出电路</p> <p>③蓄电池: 用来调节电站的输出功率, 使之不受阳光强弱的影响</p> <p>④控制显示装置: 用来监控电站各部分的运行</p>

(六) 电力系统

1. 电力系统的组成、结构及其功用 如表 JC12-9 所示。

表 JC12-9 电力系统的组成、结构及其功用

序号	项 目	说 明
1	电力系统的组成	

序号	项目	说明
2	电力系统的结构示意图	
3	电力系统的功用	<ul style="list-style-type: none"> ①可更经济合理地利用动力资源,首先是充分利用水力资源 ②减少电能损耗 ③降低发电成本 ④保证电能质量 ⑤大大提高供电可靠性

2. 电力系统中性点运行方式 如表 JC12-10 所示。

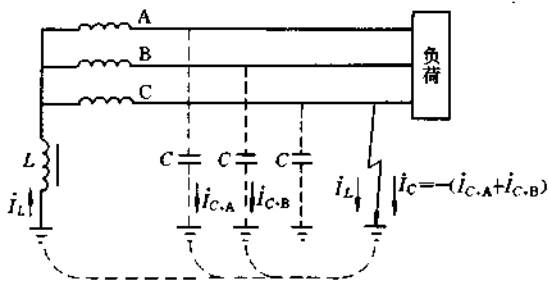
表 JC12-10 电力系统中性点运行方式

序号	项目	说明
1	电力系统中性点运行方式的分类	

(续)

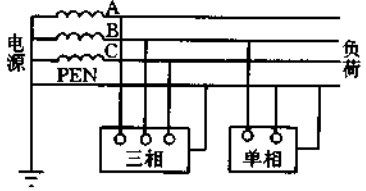
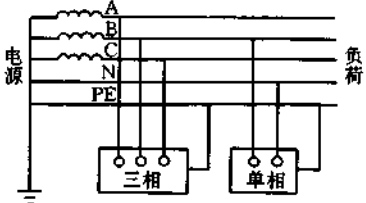
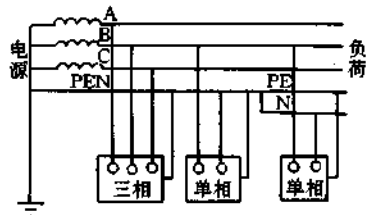
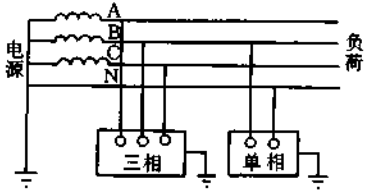
序号	项 目	说 明
1.1	中性点非直接接地系统	<p>包括中性点不接地系统(见图a)和中性点经阻抗或经消弧线圈接地系统(见图b)。又称“中性点非有效接地系统”或“小接地电流系统”</p>
1.2	中性点直接接地系统	<p>指中性点用金属导体接地的系统(如下图所示)。又称“中性点有效接地系统”或“大接地电流系统”</p>
2	电力系统中性点不同运行方式的特点	
2.1	中性点非直接接地系统 (小接地电流的电力系统)	<p>①在发生一相接地故障时,其三相电压无论其相位和量值均维持不变,因此该系统中的三相用电设备仍可照常运行。但这种故障系统,不允许长期运行,以免在另一相又发生接地故障时形成两相接地短路,这时将产生很大的短路电流,可能损坏线路和设备。因此这种系统中,应装设专门的绝缘监察装置(参看表ZY7-17序号1)或单相接地保护(参看表ZY7-17序号2),以便在发生一相接地时,发出报警信号,通知运行值班人员注意和处理。如一时(一般规定为2h内)检修不好,应将重要负荷转移,而切除故障线路</p> <p>②在发生一相接地故障时,另两个完好相的对地电压要升高为正常时对地电压的$\sqrt{3}$倍,即升高到线电压</p>
2.2	中性点直接接地系统 (大接地电流的电力系统)	<p>①在发生一相接地故障时,其三相电压的对称关系完全被破坏,因此该系统中的三相用电设备不能继续运行。由于单相短路电流很大,将使过电流保护装置动作,迅速切除故障线路</p> <p>②在发生一相接地故障时,另两个完好相的对地电压不会升高,仍维持为相电压值。因此对线路的绝缘水平的要求相对较低。这一特点对110kV及以上的超高压系统,很有技术经济价值,因为这类系统中各类绝缘的费用在总的造价中占的比重很大,故这类系统均采用中性点直接接地的方式</p>
3	电力系统中性点经消弧线圈接地的作用	
3.1	弧光接地的危害 及有关规程的规定	<p>中性点不接地的电力系统发生一相弧光接地时,电弧电流是断续的非正弦电流,可分解为一基波分量和一些高次谐波分量,而接地电流回路相当一个R-L-C串联电路,因而可能对某一高次谐波电流分量发生电压谐振现象,使线路出现危险的过电压,其值可达相电压的2.5~3倍,这可导致线路中绝缘薄弱地点的绝缘击穿。为此,有关规程规定:3~10kV,单相接地电流大于30A时,20kV及以上,单相接地电流大于10A时,应采取中性点经消弧线圈接地的运行方式</p>

(续)

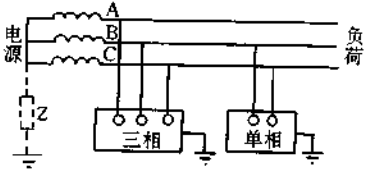
序号	项目	说明
3.2	系统中性点经消弧线圈接地的作用	 <p>中性点经消弧线圈接地后,接地点由于接地电容电流与经消弧线圈的电感电流相互抵消,可使接地电流小于最小生弧电流而不致产生电弧,因而不致出现谐振过电压现象</p>

3. 低压配电系统的接地型式 如表 JC12-11 所示。

表 JC12-11 低压配电系统的接地型式

序号	项目	说明
1	低压配电系统的接地型式分类	
1.1	TN-C 系统	
1.2	TN-S 系统 (三相四线制)	
1.3	TN-C-S 系统	
1.4	TT 系统 (三相四线制)	

(续)

序号	项 目	说 明
1.5	IT 系统 (三相三线制)	
2	低压配电系统各种接地型式的特点及应用范围	
2.1	TN-C 系统	<p>特点:</p> <ul style="list-style-type: none"> ①中性点直接接地 ②PE 线与 N 线合为一根 PEN 线 (通常称为“零线”) ③设备的外露可导电部分 (如金属外壳、框架等) 均接 PEN 线 (通常称为“接零”) ④PEN 线中可有电流流过, 因而可对某些接 PEN 线的设备产生电磁干扰 ⑤如 PEN 线断线, 可使接 PEN 线的设备外露可导电部分带电, 而造成人身触电危险 ⑥由于 PE 线与 N 线合一, 因此较为经济 ⑦在发生一相接壳或一相接地故障时, 过流保护装置动作, 将切除故障线路 <p>应用范围: 在我国低压配电系统中应用非常普遍, 但不适于安全要求及抗电磁干扰要求高的场所。此外, 要求 PEN 线的装设一定要牢固可靠, 且不允许在 PEN 线上装设开关、熔断器</p>
2.2	TN-S 系统	<p>特点:</p> <ul style="list-style-type: none"> ①中性点直接接地 ②PE 线与 N 线分开。设备的外露可导电部分 (外壳等) 均接 PE 线 ③由于 PE 线与 N 线分开, 因此 PE 线中无电流流过, 因此对接 PE 线的设备无电磁干扰问题 ④PE 线断线时, 正常情况不会使接 PE 线的设备外露可导电部分带电, 但在有设备发生一相接壳故障时, 将使其所有接 PE 的设备外露可导电部分带电, 而造成人身触电危险 ⑤在发生一相对地短路时, 过流保护装置动作, 将切除故障线路 ⑥由于 PE 线与 N 线分开, 因此建造投资较 TN-C 系统高 <p>应用范围: ①对安全要求较高的场所, 如潮湿易触电的浴池等地及居民生活住所; ②对抗电磁干扰要求高的数据处理、精密检测等实验场所</p>
2.3	TN-C-S 系统	<p>特点:</p> <ul style="list-style-type: none"> ①中性点直接接地 ②该系统的前部分全为 TN-C 系统, 而后边有一部分为 TN-C 系统, 有一部分为 TN-S 系统 ③设备的外露可导电部分 (外壳等) 接 PEN 线或 PE 线 ④该系统综合了 TN-C 系统与 TN-S 系统的特点 <p>应用范围: 此系统比较灵活, 对安全要求较高及对抗电磁干扰要求较高的场所采用 TN-S 系统供电, 而其它情况则采用 TN-C 系统供电</p>

(续)

序号	项 目	说 明
2.4	TT 系统	<p>特点:</p> <ul style="list-style-type: none"> ①中性点直接接地 ②该系统没有公共 PE 线, 设备的外露可导电部分(外壳等)经各自 PE 线直接接地 ③由于各设备的 PE 线间无电磁联系, 因此互相之间无电磁干扰 ④当系统发生一相接地故障时, 则形成单相短路, 过电流保护装置动作, 切除故障设备 ⑤当系统出现绝缘不良引起漏电时, 因漏电流较小不足以使过流保护装置动作, 从而使漏电设备的外露可导电部分长期带电, 增加了人体触电的危险。因此为保障人身安全, 这种系统应装设灵敏的触电保护装置(参看表 ZY9-22) ⑥省去了公共 PE 线, 较 TN 系统经济, 但各设备单独装设 PE 线, 又增加了麻烦 <p>应用范围: 适于安全要求和对抗电磁干扰要求较高的场所。国外这种系统应用较广泛, 我国目前应用不广</p>
2.5	IT 系统	<p>特点:</p> <ul style="list-style-type: none"> ①系统中性点不接地, 或经高阻抗(约 1000Ω)接地 ②没有 N 线, 因此不适于接有相电压的单相设备。单相设备只能是线电压的 ③设备的外露可导电部分(外壳等)经各自 PE 线直接接地 ④各设备单独接地, 相互之间无电磁干扰 ⑤发生一相接地故障时, 三相用电设备仍能继续运行 ⑥应装设单相接地保护装置, 以便在发生一相接地故障时给予报警信号 <p>应用范围: 对连续供电要求高及有易燃易爆危险的场所宜采用 IT 系统, 如矿山、井下等场所</p>

主要参考文献

- 1 中国大百科全书电工编委会编, 中国大百科全书 电工卷, 北京、上海: 中国大百科全书出版社, 1992
- 2 机械工程手册, 电机工程手册编委会编, 电气工程师手册, 北京: 机械工业出版社, 1987
- 3 刘介才编, 工厂供电(第 2 版), 北京: 机械工业出版社, 1991
- 4 刘介才编著, 工厂供电 500 问答, 北京: 兵器工业出版社, 1994
- 5 贺天枢, 赵叔玉主编译, IEC 电工电子标准术语词典, 北京: 中国标准出版社, 1992

十三、现代企业管理基础 (JC13)

(一) 现代企业管理常用的名词术语

现代企业管理中部分常用的名词术语, 如表 JC13-1 所示。

表 JC13-1 现代企业管理常用的名词术语

序号	名词术语	含义说明
1	现代企业 modern enterprise	指拥有必要的生产资料 and 现代生产技术, 从事商品生产、流通等经济活动, 依法自主经营、自负盈亏、独立核算, 具有法人资格的基本经济单位
2	现代企业管理 modern enterprise management	指应用运筹学、系统工程理论和行为科学以及电子计算机等现代技术手段, 对企业的生产经营活动进行计划、组织、指挥、协调和控制等一系列活动的总称
3	企业管理基础工作 essential work of enterprise management	指为实现企业的经营目标和管理职能提供资料依据、基本手段和前提条件的工作。其主要内容包括: 标准化工作、定额工作、计量工作、信息工作、规章制度和基础教育等
4	技术基础 technical base	指劳动工具、劳动对象、劳动者的操作技能和经验, 以及生产的工艺流程、生产组织和劳动组织等方面的技术
5	生产力 productive forces	指在生产过程中人们征服自然和改造自然的能力。它由具有一定的科学技术知识、生产经验和劳动技能的劳动者、劳动资料及劳动对象等要素构成
6	生产资料 means of production	指人们在生产过程中必需的一切物质条件, 是构成生产力的物质要素, 包括劳动资料和劳动对象, 亦称“生产手段”
7	劳动资料 means of labor	指人们用以改变或影响劳动对象的一切物质资料或物质条件, 包括机器设备、生产工具和其它劳动手段等。广义的还包括劳动过程中必要的一切物质条件, 如工厂建筑物、运河、道路等, 亦称“劳动手段”
8	劳动对象 subject of labor	指人们为生产物质财富而以劳动加于其上的一切东西。分为自然物和经过劳动加工的原料两大类。前者如待开采的石油、矿石, 后者如纺纱用的棉花、制造机器用的钢铁等
9	劳动 labor, work	指人们支出劳动力以改变劳动对象使之适合自己需要的有目的的活动, 是人类社会存在和发展的最基本条件之一
10	活劳动 live-labor	指物质生产过程中劳动者的体力和脑力的消耗, 是生产的决定性因素。生产过程是活劳动作用于生产资料的过程。离开了活劳动, 生产资料本身就不能创造出任何东西
11	物化劳动 materialized-labor	指凝结在劳动对象中, 体现为劳动产品的人类劳动, 故又称“对象化劳动”。它与活劳动相对称, 是凝结在物当中, 过去完成了的劳动
12	生产关系 relations of production	指人们在生产过程中结成的相互关系, 包括生产资料的所有制形式、人们在生产中的地位 and 相互关系, 以及劳动成果的分配形式等

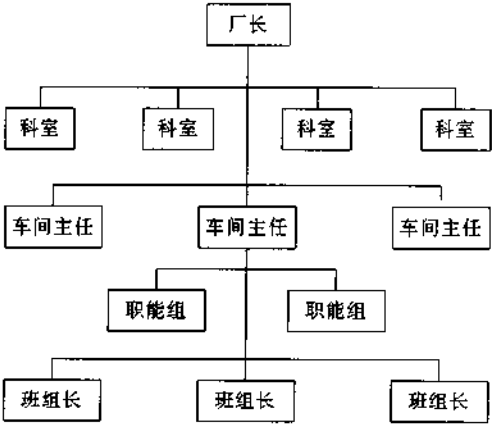
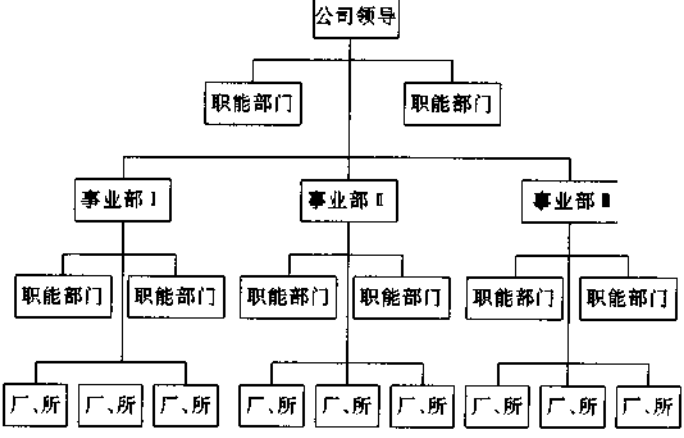
(续)

序号	名词术语	含义说明
13	商品 goods	指为了满足人们的一定需要而在市场上交换或出售的劳动产品。具有使用价值和价值两种属性
14	价值 value	指凝结在商品中的一般的、无差别的人类劳动,是商品的基本属性之一。它是商品生产者之间交换产品的社会联系的反映。未经劳动加工和用以满足自己需要、不当作商品出卖的产品都不具有价值
15	使用价值 use value	指能够满足人们某种需要的效用,如粮食能充饥、衣服能御寒。在商品经济条件下,它是价值的物质承担者是商品的基本属性之一
16	生产 produce	指人们结成一定的生产关系,利用生产工具改变劳动对象以适合自己需要的过程。它是社会再生产过程的决定性因素
17	交换 exchange	指人们互换劳动或劳动产品的过程,是社会再生产过程的一个环节,交换由生产决定,又反过来影响生产
18	分配 distribution	指社会在一定时期内新创造出来的产品或价值在社会成员之间的分配。是社会再生产过程的一个环节。分配由生产决定,又对生产的发展起促进或阻碍作用
19	消费 consume	指使用物质资料以满足人们物质和文化生活的需要。是社会再生产过程的一个环节。生产决定消费,而消费又反过来影响生产
20	法人 legal person	指依法成立、受到法律的保护和约束,并能以自己的名义行使权利和承担义务的社会组织,如公司、社团等
21	运筹学 operations research	指运用分析、试验、量化的方法,对企业的人、财、物等资源进行统筹安排,以实现整体优化的一门科学
22	系统 system	指由相互作用和相互依赖的若干部分组合而成的、具有特定功能的有机整体
23	系统工程 systems engineering	指以系统为对象,把要研究和管理的对象,用分析、判断、推理等程序建成某种系统模型,进而用概率、统计、运筹学、模拟等方法,求得系统整体优化的组织管理技术
24	行为科学 behavioral science	指对人的行为及产生行为的原因进行分析研究的科学。在企业管理中着重研究人际关系和人的行为如何处理的问题
25	计划 plan	指为达到某一目标而做的预先筹划,以及为实现目标预先安排和准备采取的措施与手段。它是企业管理的首要职能
26	组织 organization	指为实现企业的共同任务和目标,对企业的生产经营活动进行合理的分工和协作,合理配备和使用企业资源的管理职能
27	指挥 command	指上级对下级的各种业务活动发出的指示和命令。是企业管理的一个重要职能
28	协调 coordinate	指通过交谈和会议等形式,沟通情况,解决矛盾,调整和改善上下左右之间乃至企业与企业外部之间的关系,以保证生产经营活动顺利进行的职能
29	控制 control	指接受企业内外的有关信息,按既定的目标和标准对企业的生产经营活动进行监督、检查,若发现偏差,及时采取措施予以纠正的管理职能

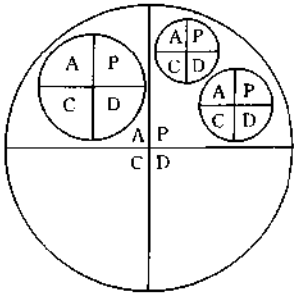
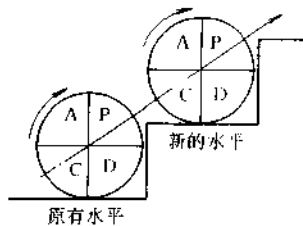
(续)

序号	名词术语	含义说明
30	标准 standard	指对经济、技术和管理等活动中具有多样性、相关性特征的重复事物,以特定的程序和形式颁发的统一规定
31	技术标准 technologic standard	指对技术活动中具有普遍性和重复出现的技术问题所做的统一规定。一般包括产品标准、方法标准和卫生安全标准等内容
32	产品标准 product standard	指对产品结构、规格、质量和检验方法等所做的技术规定。按其发生作用的范围可分为国际标准、国家标准、专业标准和企业标准等
33	方法标准 method standard	指为提高工作效率、保证工作结果必要的准确一致,对生产技术和组织管理活动采取的方法所做的统一规定,如工艺规程、操作规程、产品质量检验方法标准、管理业务标准等
34	管理标准 management standard	指对管理活动中具有普遍性和重复出现的管理问题所做的统一规定,如技术管理标准、生产组织标准、经济管理标准等
35	定额 quota	指企业在一定条件下,对人力、物力、财力的消耗、占用以及利用程度所应达到的数量界限所做的规定
36	规章制度 rules and regulations	通常是指企业对生产、技术、经济等活动所订定的各种规则、章程、程序和办法的总称,是企业职工必须遵守的行为规范和准则
37	经济责任制 system of the economic responsibility	指以提高经济效益为目的,实行责、权、利相结合的经营管理制度,在责、权、利三者关系中,要以贯彻责任制为核心,做到责任明确、权力相应,利益适当。它是在企业过去实行的经济核算制、岗位责任制等基础上发展起来的,更有利于提高广大职工的社会主义积极性和主人翁责任感
38	生产技术规程 technical regulations for production	指按照生产技术客观规律的要求,对产品设计、生产操作、设备、仪器的使用和维护、安全技术和质量检验等方面所做的规定
39	管理工作制度 workihy system in management	指按照企业生产经营管理的客观规律的要求,对各项管理工作的范围、内容、程序和方法等所做的规定
40	基础教育 basic education	指对职工从事本职工作,履行本岗位职责所必需进行的最基础的政治思想教育和技术业务教育
41	管理幅度 span of control	指一名上级领导直接领导下级人员的人数。管理幅度的大小受领导者的能力和下属人员的素质以及管理业务复杂程度的制约
42	管理层次 administrative levels	指生产行政管理机构分级管理的各个层次,在一般情况下,管理层次与管理幅度成反比例关系。在有效管理幅度内,应力求减少管理层次,提高管理工作效率
43	行政管理机构 administrative setup	指以厂长(经理)为首的一整套生产行政管理组织。它由各级行政领导人员、职能机构和职能人员组成。管理机构设置的原则,要从企业生产经营特点和需要出发,达到组织合理、人员精干、职责分明、工作效率高、管理效果好的要求
44	集权制 system of centralization	指把生产经营管理权限较多地集中在企业最高领导层的一种组织形式。一般适用于规模不大、经营内容比较单纯、地区分布较窄的企业

(续)

序号	名词术语	含义说明
45	分权制 system of decentralization	指把企业经营管理权限适当分散在企业中下层的一种组织形式,一般适用于规模较大、生产品种多、市场变化大、地区分布较广的企业
46	直线职能制 line and staff organization	<p>指在各级生产行政领导者之下设置相应的职能部门,从事专业管理,作为该级领导者的参谋部。它是企业管理的基本组织形式。其组织结构如图所示</p> 
47	事业部制 divisional organization	<p>指在公司统一领导下,按产品或地区或市场划分的半独立的生产经营单位,是一种分权制的管理组织形式。其组织结构如图所示</p> 
48	职能科室 functional office	指企业生产行政领导者的助手、参谋和办事机构。它按一定专业分工,协助企业领导者行使某一方面的管理职能。按业务性质可分为综合性科室、专业性科室、服务性科室三种
49	经营管理 management and control	指对企业经营环境因素的调查、分析,进行市场预测,制定企业的经营战略与策略,编制经营计划,组织市场营销活动等管理工作的总称
50	生产管理 production management	指对企业生产过程的组织,生产能力的核定,生产计划和生产作业计划的编制与执行,生产技术准备,在制品和半成品管理、生产调度、生产控制及生产作业核算等管理工作的总称

(续)

序号	名词术语	含义说明
51	全面质量管理 total qualities control	指为保证并提高产品质量和工作质量,综合运用管理技术、专业技术和科学方法,对产品设计、制造、辅助生产和销售使用全过程的质量问题所进行的管理,简称“TQC”
52	PDCA 循环 PDCA circulation	<p>指按照计划 (plan)、执行 (do)、检查 (check)、处理 (action) 4 个阶段的顺序不断循环进行质量管理的一种方法。其特点是:整个企业是一个大的 PDCA 循环,企业的各个环节,各个管理部门乃至每个职工又都有各自的小的 PDCA 循环,形成大环套小环,小环保大环,推动大循环的局面。每完成一次循环,就解决一批质量问题,从而使产品质量和工作质量上升到一个新的水平,再在一个新的水平上进行 PDCA 循环。如图所示</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>大环套小环示意图</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>不断循环不断上升示意图</p> </div> </div>
53	科技管理 management of science and technology	指对企业的技术进步、新产品开发、工程技术活动的管理工作的总称。搞好这项工作,对实现企业现代化,促进企业经济的发展有着重要作用
54	设备管理 equipment management	指对设备的选择评价、分类编号、合理使用、维护修理、改造更新和报废处理等方面管理工作的总称
55	工具管理 tools management	指对企业生产用工具的研制、采购、保管、使用、刃磨、翻新直至报废的全过程所进行的管理
56	物资管理 materials and equipment management	指对企业生产过程中所需各种物资的订购、储备、使用等所进行的管理工作的总称
57	劳动人事管理 labor and personnel management	指对企业有关职工的任用、培训、考核、晋升与调配,以及劳动定额、劳动报酬和劳保福利等方面管理工作的总称
58	营销管理 sales management	指企业通过一系列营销手段,销售产品,满足消费者的需求,实现产品的价值和使用价值的一种综合性管理
59	财务管理 financial management	指对企业资金的筹集、运用、耗费、回收和分配等财务活动及财务关系所进行的管理

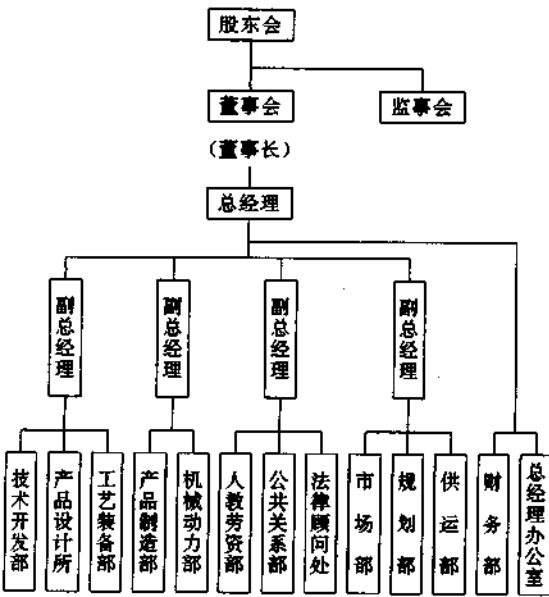
(续)

序号	名词术语	含义说明
60	经济核算 economic calculation	指对企业生产经营过程中的劳动消耗、资金占用和经济效果所进行的计划、记录、计算、控制和分析等
61	会计核算 accounting calculation	指根据审核后的会计凭证,运用会计科目、填制记帐凭证,登记会计帐簿,以价值形式反映和监督企业和企业内部各核算单位的劳动消耗、资金占用及其经济效果的方法
62	统计核算 statistics calculation	指通过日常记录、抽样调查、典型调查、重点调查、全面调查等取得资料,运用分组法、平均法、指数法等方法,编制统计报表、以价值量、实物量和劳动量为统计单位,反映企业和企业内部各核算单位生产经营活动状况的方法
63	业务核算 business calculation	指通过直接观察和专门的计量方法,对某项业务活动进行记录和计算,以价值量、实物量和劳动量为计量单位,反映企业和企业内部各核算单位某项经济业务动态的方法
64	会计 accounting	指以货币为主要计量单位,采用专门方法,对经济业务进行核算和监督的一种管理活动
65	审计 auditing	指审计人员对被审计单位的财政经济活动及其会计资料的真实性、合法性、合理性所进行的审查和监督
66	工业总产值 gross industrial output value	指以货币表现的工业企业在一定时期内工业生产活动的最终成果。它反映工业企业在一定时期的生产规模 and 水平
67	净产值 net output value	指企业在一定时期内从事生产活动新创造的价值、工业净产值的计算方法有生产法和分配法两种: ① 生产法的计算公式是 工业净产值=按现行价格计算的工业总产值-物质消耗价值 ② 分配法的计算公式是 工业净产值=工资+职工福利基金+税金+产品销售利润+利息+其它费用
68	工业商品产值 value of merchandise production	指工业企业在一定时期内已完成生产,并可供商品周转的工业产品价值。其计算公式是: 商品产值=供销售的成品和半成品×出厂价格+来料加工价值+工业性作业收入
69	统计 statistics	指按一定的要求和专门的方法对客观事物的数量进行汇总、综合计算和分析
70	管理信息系统 management information system	指一个由人、计算机等组成的能进行管理信息的收集、传递、贮存、加工、维护和使用的系统,亦称“计算机管理系统”。它能实测企业的各种运行情况,利用过去的的数据预测未来,从全局出发辅助企业进行决策,利用信息控制企业的行为,帮助企业实现其规划目标。管理信息系统的发展对管理系统的变革产生了深远的影响,是管理现代化的重要标志

(二) 现代企业制度

现代企业制度,如表 JC13-2 所示。

表 JC13-2 现代企业制度

序号	项目	说明
1	现代企业制度	指产权清晰、权责明确、政企分开、管理科学、适应市场经济要求的企业制度。包括企业法人制度、有限责任制度和科学的组织制度三项基本内容
2	企业法人制度	指由出资人向企业认缴的全部资本金构成企业法人财产,企业依法享有法人财产的占有、使用、收益和处分权,并以独立的财产对自己的经营活动负责
3	企业财产组织形式	通常分为三类:①个体企业又称“私营企业”,指由业主自己出资、自己经营、盈亏自负的经济组织;②合伙制企业,又称“联营企业”,指由合伙人通过协议,共同经营,收益分享,共担风险的经济组织;③公司制企业,指由两个以上股东出资,对自己经营的财产享有民事权利、承担民事责任的组织
4	股份有限公司	指注册资本由等额股份构成,并通过发行股票筹集资本,股东以其所认购股份对公司承担有限责任,公司以其全部资产为限对公司债务承担责任的企业法人
5	有限责任公司	指两个以上 30 个以下股东(经政府授权部门批准,最多不超过 50 个)共同出资,每个股东以其所认缴的出资额对公司承担有限责任,公司以其全部资产为限对其债务承担责任的企业法人
6	现代企业组织制度	<p>指以公司制为代表的组织制度,一般由股东会、董事会、总经理、监事会组成(如图所示)。其特征是:企业所有者、经营者、生产者之间,通过公司的权力机构、决策和管理机构、监督机构,形成各自独立、权责分明、相互制约的关系,从企业内部建立起约束机制和激励机制</p> 
7	股东会	为公司的最高权力机构,由出资人或其代表的股东组成,以维护股东的权益为宗旨。其主要职权是:①选举和更换公司的董事和监事;②批准公司章程和财务预、决算方案,决定公司的经营方针和投资计划等重大事项;③批准公司的利润分配方案和亏损弥补方案;④对公司的合并、分立、解散或破产清算,以及注册资本的增减作出决议等

(续)

序号	项目	说明
8	董事会	为公司的经营决策机构,对外代表公司,由公司董事组成。董事会对股东会负责,执行股东会决议。其主要职权是:①决定公司的经营计划、投资方案、公司内部管理机构设置和基本管理制度;②制定公司财务预、决算方案,利润分配方案和亏损弥补方案,公司增减资本和发行公司债券的方案;③任免公司经理、副经理和财务负责人等。董事长由董事会选举产生,一般为公司法定代表人
9	总经理	负责公司的日常经营管理,主持公司的生产经营管理工作,对董事会负责。其主要职责是:①组织实施董事会的决议,公司年度经营计划和投资方案;②拟定公司内部机构设置方案和管理制度等。总理由董事会聘任或解聘
10	监事会	为公司的监督机构,由股东代表和按一定比例的职工代表组成,对股东会负责。其主要职责是:①对公司董事、经理执行公司职务时违反法律或公司章程的行为进行监督,防止滥用职权;②有权审核公司的财务状况,保障公司利益及公司业务活动的合法性。如发现有害公司利益的行为,有权要求予以纠正
11	企业工会	为中国工会在企业的基层组织,是实行职工民主管理的群众组织。在公司制企业中,工会代表职工向董事会、监事会反映职工的意见和要求,维护职工的合法权益,参与企业的管理
12	企业党组织	企业党组织在公司中发挥政治核心作用,以保证、监督党和国家的方针、政策在本公司的贯彻执行。党政领导人员可适当交叉任职,条件具备的可实行党政主要职务一人兼任。党组织负责人可通过法定程序进入董事会、监事会,参与企业重大问题的决策。企业党组织的机构设置和人员配备,由公司自主决定。公司党组织要结合企业特点,围绕企业中心任务做好保证、监督工作,抓好企业党的建设和精神文明建设
13	现代企业用工制度	企业依法享有用工自主权,劳动者依法享有择业自主权。以平等自愿签订的劳动合同,是劳动关系双方权利、义务互相协调和制约的具有法律效力的依据。建立和完善社会保障体系和劳动力市场,以形成用人单位和劳动者双向选择、合理流动的就业机制
14	现代企业工资制度	在坚持职工工资总额低于企业经济效益增长率、职工平均工资低于本企业劳动生产率增长的前提下,企业享有充分的工资分配自主权。但政府应制定最低工资标准,并对企业工资水平的确定情况进行监督、检查
15	现代企业财务会计制度	建立与国际惯例相一致的企业财务会计制度体系,体现产权关系清晰、财会政策公平、企业自主理财的原则,强化企业内部财务管理,完善企业审计制度,通过企业内部审计组织和社会审计力量,形成对企业的审计监督机制

(三) 现代企业的营销管理

现代企业的营销管理知识,如表 JC13-3 所示。

表 JC13-3 现代企业的营销管理知识

序号	项目	说明
1	营销管理的任务	指运用经营战略与策略,有效地利用企业的人力、物力、财力和信息资源,实现企业预定的经营目标

(续)

序号	项目	说明
2	经营目标	指企业在一定时期内生产经营活动的发展方向和经过努力所要取得的预期结果。可分为三类：①销售目标（含销售额、市场占有率、利润率、履约率等目标）；②生产目标（含产品品种、数量、质量、成本和生产技术发展水平等目标）；③生活目标（含职工物质福利和文化生活水平等的提高目标）
3	经营方针	指针对企业某一时期的经营管理所要解决的某些重要问题而采取的基本原则和行动方略。随着不同时期，各个企业的经营目标和特点的不同，所采取的经营方针也是不一样的。如有的企业提出“以质量取胜”的方针，有的企业采取“以品种求发展”的方针，有的企业则实行“降低成本、薄利多销、提高服务质量”的方针
4	经营思想	指企业在整个经营活动中的指导思想。包括系统整体优化，讲求经济效益的思想；面向市场，热忱为用户服务的思想，质量第一，敢于竞争，勇于开拓创新的思想等
5	经济效益	指投入与产出之比，产出应大于投入，力求以最少的劳动消耗生产出更多的符合社会需要的优质产品
6	经营战略	指对企业全局性、长期性的总体目标和为达到总体目标而采取的主要行动所要进行的运筹谋划 企业经营战略分为综合战略和分战略。综合战略是根据企业所处的环境和经营目标而确定的总的行动方向，分为三种类型：①发展战略；②稳定战略；③紧缩战略。分战略是指为保证综合战略的实现在各个经营领域内分别采用的战略，包括产品战略、市场战略、财务战略、组织战略和人事战略等
7	经营策略	指为实现企业经营战略所要采取的对策和手段。它服从于经营战略，并为达到经营战略目标服务。但在经营战略原则许可的范围内，它具有随机应变的灵活性 为了实现经营战略，企业的每一个重要的职能部门都要制订经营策略。如产品开发策略、市场渗透策略、多角化经营策略、薄利多销策略、集资、合资经营策略等
8	经营决策	指在企业的经营活动中，根据对经营要素和经营环境的分析，确定企业的经营目标，拟定多种可行方案，从中选择一个合理方案的分析判断过程
9	经营要素	指企业拥有的人力、物力、财力和信息等资源，以及企业的技术水平、组织能力和技能等经营手段
10	经营环境	指与企业经营有关的各种外在因素。包括政治、法律、经济、社会文化、自然地理、科学技术、市场需求、资源供应和市场竞争等因素
11	决策程序	<p>指一个科学的决策过程所要经过的步骤。一般应包括：①调查经营状况，搜集情报信息；②找出经营问题，确定经营目标；③拟订各种可行方案；④方案的评价和选择；⑤方案的实施。如图所示</p> <pre> graph TD A[外部环境调查] --> B[经营问题] C[内部条件分析] --> B B --> D[经营目标] D --> E[可行方案1] D --> F[可行方案2] D --> G[可行方案3] E --> H[评选方案] F --> H G --> H H --> I[方案实施] I -.->|反馈| D </pre>

(续)

序号	项目	说明
12	决策方法	指在评选方案、作出抉择时所采取的科学方法。通常有经验判断法、数学分析法(如期望值法、决策树法等)和试验法三种
13	经营计划	指在经营思想指导下,根据企业外部环境和内部条件,对企业生产经营活动的奋斗目标和决策方案在时间和空间上的统筹安排
14	滚动计划	<p>指根据计划的执行情况和环境、条件的变化,调整和修订未来的计划,并逐期向前推移,把近期计划和长期计划结合起来的一种计划,如图所示</p>
15	综合平衡	<p>指在编制计划时,要从社会需要和企业可能出发,根据企业生产经营活动中各种比例关系的要求,对各项生产要素和各环节的活动进行统筹兼顾,全面安排,使之相互衔接,相互协调,相互促进,以达到计划目标</p> <p>综合平衡的内容主要有:①生产销售任务与生产能力之间的平衡;②生产任务与所需要的物资供应之间的平衡;③生产任务与劳动力之间的平衡;④生产任务与生产技术准备之间的平衡;⑤生产任务与资金来源的平衡。在逐项专业性平衡的基础上,还要进行全面、系统的综合平衡</p>
16	目标管理	指让企业员工参加工作目标的制订,在工作中实行“自我控制”,并按目标完成情况来决定奖惩的一种管理制度
17	经济合同	指两个以上的当事人之间,为实现一定目的,明确相互间某种权利、义务关系的书面协议
18	市场	指商品交换的领域和场所,体现着商品供需之间的经济关系。从卖方来看,顾客就是它的市场;从国民经济来看,市场是商品供求关系的总和
19	市场观念	指企业的整个营销活动立足于满足顾客需要,以实现供需共同利益的经营指导思想
20	市场调查	指对产品的市场需求情况,以及与此有关的信息资料的搜集、记录、整理和分析工作。调查的方法主要有询问法、观察法和实验法等
21	市场预测	指运用定性、定量等科学方法和手段,对市场商品的供求趋势、影响因素、变化状况所作的分析和推断。预测的方法主要有经验判断法、专家意见法、时间序列法和回归分析法等

(续)

序号	项目	说明									
22	目标市场	<p>指企业根据本身条件和外界因素,确定产品(或服务)的销售对象。它是在市场细分化的基础上,通过情况分析,找出企业的市场优势与劣势,从供、求两方面发现可供选择的市場机会而确定的</p> <p>市場机会如下表所示:</p> <table border="1"> <tr> <td></td> <td>现有产品</td> <td>新产品</td> </tr> <tr> <td>现有市场</td> <td>市場渗透</td> <td>产品开发</td> </tr> <tr> <td>新市场</td> <td>市場开发</td> <td>多角化</td> </tr> </table>		现有产品	新产品	现有市场	市場渗透	产品开发	新市场	市場开发	多角化
	现有产品	新产品									
现有市场	市場渗透	产品开发									
新市场	市場开发	多角化									
23	市場细分化	指按照一定因素将某一整体市場划分为若干分市場,从中选择经营对象的方法									
24	市場占有率	<p>指在一定市場范围和一定时期内,企业某种商品的销售量占該市場同种商品总销售量的百分比。其计算公式为</p> $\text{市場占有率} = \frac{\text{企业某种商品的销售量}}{\text{該市場同种商品的销售量}} \times 100\%$									
25	市場营销组合	<p>指企业为进入目标市場,实现其营销战略目标,对其产品、价格、促销和分销等策略的统一规划。如图所示</p>									
26	产品组合	<p>指企业生产经营的各种不同类型的产品系列以及同类产品系列所包含的产品项目的数量比例。如左表所列的产品组合,其广度(产品系列数)为3,而其深度(产品项目数与产品系列数之比)为4</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>产品系列</th> <th>产品项目</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>电冰箱</td> <td>A₁、A₂、A₃、A₄</td> </tr> <tr> <td>洗衣机</td> <td>B₁、B₂、B₃</td> </tr> <tr> <td>电视机</td> <td>C₁、C₂、C₃、C₄、C₅</td> </tr> </tbody> </table>	产品系列	产品项目	电冰箱	A ₁ 、A ₂ 、A ₃ 、A ₄	洗衣机	B ₁ 、B ₂ 、B ₃	电视机	C ₁ 、C ₂ 、C ₃ 、C ₄ 、C ₅	
产品系列	产品项目										
电冰箱	A ₁ 、A ₂ 、A ₃ 、A ₄										
洗衣机	B ₁ 、B ₂ 、B ₃										
电视机	C ₁ 、C ₂ 、C ₃ 、C ₄ 、C ₅										
27	产品市場寿命周期	<p>指产品从投入市場起,到被市場淘汰为止所经历的时间。它以企业销售额的变化来划分,一般要经历投入期、成长期、成熟期和衰退期四个阶段。如图所示</p>									

(续)

序号	项目	说明
28	产品	<p>指能满足人们某种需要的物品和服务。在市场营销中,产品的整体概念如图所示</p>
29	商标	指区别不同商品生产者生产的商品的标记,是构成整体产品的一部分。企业商标经注册后,取得专用权,受到《商标法》的保护
30	包装	指产品的容器和包装物。它具有保护商品、介绍商品和便于流通的功能是整体产品的组成部分
31	定价策略	指企业根据市场竞争、供求变化等因素对商品价格的影响,采用不同的定价方式与方法,制订出适合市场变化的商品价格营销策略。主要有取脂定价策略、渗透定价策略、心理定价策略、竞争定价策略等
32	促销策略	指企业为促进产品的销售,对人员推销、广告、营业推广和公共关系等促销手段的综合运用
33	广告	指法定组织或个人通过媒体向广大消费者传递某种商品或服务信息的一种促销方式
34	人员推销	指推销人员运用各种推销技巧和手段,向顾客面对面地推销商品的一种促销方式
35	营业推广	指通过销售服务、产品陈列、产品展销、样品赠送、发行优待券和奖券等形式,促进产品销售
36	销售服务	指通过销售咨询、产品宣传、设计服务、安装调试“三包”、维修等服务工作,保证用户所购产品发挥效用,从而促进产品销售
37	公共关系	指一个社会组织,为了促进有关公众的理解,信任与支持,而采取的一系列增进与公众交往的、有计划的努力和活动。如发布新闻和公关广告,举办专题活动,参与公益活动等
38	销售渠道	<p>指商品由生产者向消费者转移所经过的途径,以及相应设置的市场销售机构</p> <p>销售渠道结构有:生产者→消费者;生产者→批发商→零售商→消费者;生产者→零售商→消费者</p> <p>采用何种销售渠道,要根据目标顾客的规模与购买特点、产品特性和产品的市场寿命周期,以及生产企业自身实力等因素而定</p>
39	中间商	指在商品流通渠道中,介于生产者与消费者之间的经销商、代理商、批发商和零售商
40	对外贸易	指一国(或地区)与其他国家(或地区)之间的商品、劳务和技术的交易。通常由进口和出口两个部分组成

(四) 现代企业的生产、技术和质量管理

现代企业的生产、技术和质量管理知识,如表 JC13-4 所示。

表 JC13-4 现代企业的生产、技术和质量管理知识

序号	项 目	说 明
1	生产管理的任务	指运用管理职能和手段,将投入生产过程的各种生产要素有机地组合起来,以最佳的方式生产出符合社会需要的产品
2	生产过程组织	指企业从准备生产产品起到生产出成品止的全过程中,对各个环节、阶段和工序的生产要素进行合理安排,使之在时空上衔接平衡,紧密配合,符合连续性、平行性、比例性、节奏性和适应性的要求
3	生产类型	指按照一定标志对企业及其生产环节所进行的分类。按专业化程度,可分为大量生产、成批生产和单件生产;按生产方法,可分为合成型、分解型、提取型和调制型等类型
4	生产单位组织形式	指企业设置生产单位(车间、工段、班组)时所采取的专业化原则。将同类设备、同工种工人集中进行同工种加工的称为“工艺原则”;按加工对象工艺过程的要求来设置生产单位的,称为“对象原则”
5	流水生产	指劳动对象按照规定的工艺过程顺序地通过各个工作地,并按照一定的生产速度(节拍)连续不断地进行加工和出产产品的一种生产组织形式
6	成组生产	指将企业生产的各种产品的零件,根据加工工序内容相似的原则,把能在同一机器设备上采用共同的技术装备和调整方法进行加工的零件归并成组,按零件组来组织生产
7	自动化生产	指不需要人直接进行操作,而由自动化装置来完成的生产过程。它通过采用自动控制装置使生产过程按照一定的程序自动连续地进行,以达到产品生产的预期目的。它是机械化生产更高的发展阶段,是现代科学技术进步的必然趋势
8	计算机辅助制造	指生产技术人员有效地利用电子计算机进行生产准备和生产过程控制,充分发挥人机特性的一种管理技术,英文简称“CAM”(参看表 JC9-1 序号 88)
9	生产计划	指企业根据市场需求和生产能力,对在计划期内生产的产品品种、质量、数量和进度等的统筹安排
10	生产能力	指一定时期内参与企业生产的固定资产,在一定条件下所能生产一定种类产品或加工处理一定原材料数量的能力
11	生产作业计划	指对企业各车间、工段、班组以至工作地和个人在月、旬、周、日、轮班以至小时的生产任务和进度进行的具体安排
12	期量标准	指对生产作业计划中的制造对象,在生产期限和生产数量方面所规定的标准数据。又称“作业计划标准”。它是编制生产作业计划的依据
13	节拍	指流水线上连续出产前、后两件制品的时间间隔。其计算公式为 流水线的节拍 = $\frac{\text{计划期内有效工作时间}}{\text{计划期内的产品产量}}$
14	批量	指花费一次准备、结束时间所生产的同种产品的数量。其计算公式为 生产批量 = 生产间隔期 × 计划期内平均日产量

(续)

序号	项目	说明
15	生产间隔期	指相邻两批同种产品投入生产(或出产)的时间间隔,其计算公式为 $\text{生产间隔期} = \frac{\text{生产批量}}{\text{计划期内平均日产量}}$
16	生产周期	指产品从原材料投入生产起到成品出产止的全部日历时间,它是编制生产计划和生产作业计划的重要的期量标准之一,是确定产品各工艺阶段的投入期和出产期的主要依据
17	生产提前期	指产品(零、部件)在生产过程的工艺阶段投入或出产的日期,比最后出产成品的日期所提前的一段时间,如图所示
18	在制品定额	指在一定条件下,生产过程各环节为保证生产正常进行所需占用的最低限度的在制品数量
19	看板管理	指把“看板”作为“取货指令”、“运输指令”、“生产指令”,用以控制生产和微调计划的管理方法,是企业实行准时化生产的工具
20	生产调度	指对企业日常生产活动进行控制和调节的工作,其内容主要包括:控制生产进度和在制品流转;督促有关部门做好生产准备和生产服务;检查生产过程中的物资供应,监督设备的运转;合理调配劳动力;调整厂内运输;组织厂部和车间的生产调度会议,并监督有关部门贯彻执行调度决议;做好生产完成情况的检查、记录、统计分析工作
21	网络计划方法	指对许多相互联系与相互制约的活动(作业或工序)所需资源与时间及其顺序进行安排的一种网状计划方法
22	技术储备	指为满足产品更新换代的需要,提前做好新产品的研制工作,以确保在适宜时机能够将新产品投放市场
23	生产技术准备	指新产品或改进老产品在投入生产前所进行的产品设计、工艺准备、物资准备、试制鉴定等准备工作
24	产品设计管理	指从明确设计任务起到确定产品具体结构、完成全部工作图设计为止的整个设计过程的管理
25	工艺管理	指对企业工艺工作,包括工艺的研究与试验、产品结构的工艺性审查、工艺规程及其它工艺文件的制订、工艺装备与专用设备的设计,以及日常的工艺工作等的管理

(续)

序号	项目	说明
26	新技术	指在一定时空范围内,初次出现的技术,或对原有技术进行改进,在性能上有明显进步的技术
27	技术革新	指在技术方面进行的局部改进与创新。如改进产品结构,改进工艺操作,改进设备和工艺装备,综合利用原材料等
28	专利	指发明者经申请,并得到专利局审查、批准公布后,在一定时空内,对其发明成果所拥有的独占性权益。其特点有:①专有性。专利权所有者拥有对该项专利的垄断权;②地域性。一国所确认和保护的专利权,只能在该国范围内有效;③时效性。专利权是有一定期限的(一般是10~15年),法定期限届满后,专利权自行终止,他人可无偿使用
29	技术诀窍	指具有实用价值的秘密的技术知识、方法和特有经验。其主要特点是:①机密性。其技术内容应严格保密;②无时间限制,只要严守秘密,没有时间限制;③无排他性。如果他人拥有同一发明成果,技术诀窍持有者不得向其提出独占权的要求
30	技术经济论证	指对技术规划、技术措施和技术方案等,从技术与经济两方面进行分析、比较和评价,以达到技术先进、经济合理的最佳结合
31	产品质量	指产品适合社会和人们需要所具备的特性,包括性能、寿命、可靠性、安全性、经济性等几个方面 产品质量标准,是对产品质量特性应达到的要求,是衡量产品是否合格的尺度,产品质量标准的制订,要充分考虑使用要求,做到技术先进,经济合理
32	品级率	指某等级产品在全部合格品产量中所占的百分值。它是反映企业合格品质量水平的一种指标,主要以优等品率和一等品率来表示。其计算公式为 $\text{优等品率} = \frac{\text{优等品数量}}{\text{全部合格品数量}} \times 100\%$ $\text{一等品率} = \frac{\text{一等品数量}}{\text{全部合格品数量}} \times 100\%$
33	合格品率	指符合产品质量标准或订货合同规定的技术要求的产品产量占全部产品(包括合格品和不合格品)数量的百分值。其计算公式为 $\text{合格品率} = \frac{\text{合格品数量}}{\text{全部产品数量}} \times 100\%$
34	不合格品	指不符合产品质量标准或订货合同规定的技术要求的产品,包括废品、次品、回用品、返修品等。不合格品率的计算公式为 $\text{不合格品率} = \frac{\text{不合格品数量}}{\text{全部产品数量}} \times 100\%$ 废品,指不符合产品质量标准且不能修复的不合格品。废品率的计算公式为 $\text{废品率} = \frac{\text{废品数量}}{\text{全部产品数量}} \times 100\%$ 次品,又称副品,指不完全符合产品质量标准,但仍能按原定用途使用的产品;回用品,指不完全符合产品质量标准,但仍能使用且不影响产品主要性能的产品;返修品,指不符合产品质量标准,但经返工修理后,可以成为合格品或次品的产品
35	工作质量	指为了保证达到产品质量标准所做的各项工作的质量水平。工作质量的高低可以通过企业各个部门和各个岗位的工作效率、工作成果、产品质量和企业经济效益来衡量

(续)

序号	项目	说明
36	质量成本	指在产品质量上发生的一切费用支出,包括由于质量原因造成的损失费用、检验费用和质量预防费用等 ①质量损失费,属企业内部的有:废品损失、返修费用、复检费用、因质量事故造成的停工损失和事故处理费用等;属企业外部的有:退货损失、保修费用、降价处理损失、赔偿损失、违反合同损失等。②检验费用包括:进料检验费、产品与工序检验费、产品试验费、测试和检验手段的维护校准费等。③质量预防费用包括:质量控制的技术和管理费、新产品鉴定费、质量管理教育培训费、工序控制费、改进质量措施费等。以上三项费用之和最低时,即为最佳质量成本
37	质量保证体系	指企业为保证和提高产品质量,把各部门、各环节严密地组织起来,明确它们在质量管理中的任务、职责和权限,形成一个协调、高效的、能保证产品质量的管理体系
38	质量检验	指根据质量标准,运用一定测试手段和检验方法测定产品质量特性的工作过程
39	质量控制	指利用数理统计等科学方法控制生产过程中的产品质量问题,以预防不合格品的产生,达到规定的质量标准的过程
40	质量“三包”	指在规定的时间和规定的使用条件下,生产企业对销售出去的产品承担“包修、包换、包退”的责任

(五) 现代企业的设备管理

现代企业的设备管理知识,如表 JC13-5 所示。

表 JC13-5 现代企业的设备管理知识

序号	项目	说明
1	设备综合管理	指对设备从规划、设计、制造、安装、使用、维修、改进、更新直至报废的全过程的技术、管理、财务和其它实际业务进行综合研究,力求设备寿命周期费用最经济、设备综合效率最高
2	设备寿命周期费用	指设备一生的总费用。包括研究、设计、制造、安装调试、使用、维修,一直到报废为止所发生的费用总和。它由设备的原始费用和使用费用两大部分组成。研究设备寿命周期费用的目的,是为了从经济上评价设备的优劣
3	设备综合效率	指设备管理要实现比较综合、全面的目标,而不是某一个方面的局部效果。它主要包括六个方面:①产量(P):要完成产品产量的任务,设备的效率要高;②质量(Q):保证生产高质量的产品;③成本(C):生产的产品成本要低;④交货期(D):保证合同规定的交货期,不要耽误;⑤安全(S):保证生产安全;⑥环保和人机匹配关系(M),减少污染,保护环境,文明生产;人机匹配关系比较好,保证操作人员保持饱满的劳动情绪和充沛的生产精力
4	设备管理的任务	主要有:①正确选购设备;②合理使用设备,保证设备的完好率,提高设备的利用率;③力求降低设备寿命周期费用;④对设备进行改造,更新,保证企业的技术进步
5	设备的选择	指购置设备时,要选择技术上先进、经济上合理、生产上可行的设备。选择设备时,应考虑以下因素:①生产性、设备的生产效率;②可靠性。在规定的时间内,在规定的使用条件下,能保持设备的精度,能无故障地发挥其规定的机能;③安全性、设备对生产安全的保障性能;④节能性。设备对节约能源和原材料的能力;⑤耐用性。设备的使用寿命长;⑥维修性。设备要便于检查和维修、修理;⑦环保性。设备对环境保护的性能;⑧成套性。设备的配套水平;⑨灵活性。设备适应不同工作条件、加工不同产品、零件的能力

(续)

序号	项 目	说 明
6	“三无”设备	指“无事故、无伤亡、无公害”的设备
7	设备分类和编号	<p>指按《设备统一分类及编号目录》对各种设备进行分类和编号，以便于管理和选用对于主要生产设备，分类如下：</p> <div style="margin-left: 40px;"> <p>主要生产设备</p> <ul style="list-style-type: none"> 机械设备 <ul style="list-style-type: none"> 0类：金属切削设备 1类：锻压设备 2类：起重运输设备 3类：木工铸造设备 4类：专用机械设备 5类：其它机械设备 动力设备 <ul style="list-style-type: none"> 6类：动能发生设备 7类：电器设备 8类：工业炉窑 9类：其它动力设备 </div> <p>在机械设备中，金属切削机床的分类如下：</p> <div style="margin-left: 40px;"> <p>金属切削机床</p> <ul style="list-style-type: none"> 0类：空白 1类：车床 2类：钻、镗床 3类：研磨机床 4类：联合及组合机床 5类：齿轮加工及螺纹加工机床 6类：铣床 7类：刨、插、拉床 8类：切断机床 9类：其它金属切削机床 </div> <p>在金属切削机床中，车床的分组如下：</p> <div style="margin-left: 40px;"> <p>车 床</p> <ul style="list-style-type: none"> 0组：台式车床 1组：自动与半自动车床 2组：落地车床 3组：转塔车床 4组：空心截断车床 5组：立式车床 6组：卧式车床 7组：多刀车床 8组：专用车床 9组：其它车床 </div> <p>在设备分类的基础上进行编号。一般有两种：①企业固定资产编号，以编制 M612 工具磨床为例：</p> <div style="margin-left: 40px;"> <p>0 3 6 - 2</p> <ul style="list-style-type: none"> —— 该机床型号的顺序编号 —— 该机床组别(工具磨床) —— 该机床所属设备小类(研磨机床) —— 该机床所属设备类(金属切削机床) </div> <p>②机器设备的型号编号，可按 JB1838—85《金属切削机床的型号编制方法》(参看表 JC5-5) 进行编制</p>

(续)

序号	项目	说明
8	设备技术档案	指记录和汇总设备一生有关资料的历史档案文件,包括:①设备名称、型号、制造厂名与国名、出厂日期、设备统一编号、使用日期、使用单位、价值等要在档案袋的封面上注明;②设备出厂、到厂、安装验收单;③设备历次修理完工报告和质量检验单;④设备历次精度和性能试验记录;⑤设备历次事故报告单;⑥设备封存和启封通知单;⑦设备改进申请书和完工报告单;⑧设备修理卡片;⑨设备卡片和有关说明书;⑩设备创造产值汇总表;⑪设备寿命周期费用汇总表等
9	设备合理使用	指:①根据设备性能,合理安排生产任务和工作负荷,避免“大机小用”、“精机粗用”;②定人定机,凭操作证操作,实行设备使用责任制;③工作环境良好,维护、保养符合“整理、整顿、清洁、清扫、素养”五项要求;④制定安全操作规程,教育职工正确使用和爱护设备
10	“三好”、“四会”	“三好”指管好、用好、修好设备,“四会”指对设备会使用、会保养、会检查、会排除故障。对设备的维护保养,符合“整齐、清洁、润滑、安全”四项要求
11	设备维护使用 五项纪律	指:①凭操作证使用设备,遵守安全操作规程;②经常保持设备清洁,并按规定润滑;③遵守交接班制;④管好工具附件,不得遗失;⑤发现故障,立即停车,自己不能处理的,应及时通知检修
12	“四定”工作	指对精、大、稀设备、实行“四定”。即:①定使用人员;②定检修人员;③定规章制度(操作规程、安全规程、检修规程);④定设备条件
13	电气设备完好标准	指:①各主要技术性能达到出厂标准或满足生产工艺要求;②操作和控制系统装备齐全,灵敏可靠;③设备运行良好,绝缘程度及安全、防护装置符合电气安全规程;④设备的通风、散热和冷却系统齐全完整,效能良好;⑤设备内外整洁,润滑良好;⑥无漏油、漏电、漏水现象。其中①~③项为主要项目
14	专用设备完好标准	指:①精度、性能满足生产工艺要求,例行试验设备的主要精度、性能达到出厂标准;②各种传动系统运转正常,操作系统灵敏可靠;③电气系统装置齐全,性能灵敏,运行可靠;④设备指示仪表齐全、完整,运转良好,指示准确;⑤润滑系统装置齐全,油路畅通,油标醒目;⑥基本无漏油、漏气、漏水、漏电现象;⑦零部件完整,主要附件齐全,保管妥善;⑧安全防护装置齐全、可靠;⑨设备内外清洁,无油垢,无锈蚀。其中①~⑥项为主要项目
15	设备完好率	指企业完好的设备台数占设备总台数的百分比。其计算公式为 $\text{设备完好率} = \frac{\text{完好的设备台数}}{\text{设备总台数}} \times 100\%$
16	设备利用率	指企业生产设备在数量、时间、生产能力等方面利用情况的指标。主要有现有设备实际使用率、计划台时利用率和单位设备在单位时间内的产量等。其计算公式分别为 $\text{现有设备实际使用率} = \frac{\text{实际使用设备数}}{\text{现有设备数}} \times 100\%$ $\text{计划台时利用率} = \frac{\text{实际开动台时数}}{\text{计划开动台时数}} \times 100\%$ $\text{单位设备能力利用率} = \frac{\text{实际每台时产量}}{\text{理论每台时产量}} \times 100\%$

(续)

序号	项目	说明
17	设备磨损	包括有形磨损和无形磨损两种。有形磨损指机器设备在使用或闲置过程中发生的实体磨损;无形磨损指设备在使用或闲置过程中,由于其再生产的必要劳动时间减少或新技术的出现而引起设备价值的损失
18	设备磨损的补偿形式	<p>设备磨损的补偿形式如图所示</p> <pre> graph TD A[设备磨损形式] --> B[可消除性的有形磨损] A --> C[不可消除性的有形磨损] A --> D[技术落后的无形磨损] B --> E[修理] C --> F[更换] D --> G[现代化改造] H[设备磨损补偿形式] --> E H --> F H --> G </pre>
19	设备寿命	指设备从投入生产开始,经过有形磨损和无形磨损,直至在技术上或经济上不宜继续使用,需要进行更新所经历的时间。设备寿命有:①自然寿命,指设备从投入使用开始,经过有形磨损,直到不能修复、在技术性能上不能按原有用途继续使用而报废为止所经历的时间;②技术寿命,指设备从投入使用开始,到因新技术的出现,使原有设备丧失其使用价值而被淘汰所经历的时间;③经济寿命,指设备从投入使用开始,到设备年平均折旧费与经营费(使用该设备所需的材料费、能源费、工资和维修保养费等)之和最低时的使用年限
20	设备维修与检查	设备维修指对设备的维护保养与修理、恢复设备性能所进行的一切活动。设备检查,指对设备的运行情况、工作性能、磨损程度进行的检查和校验
21	设备修理	指修复由于正常或不正常的原因而造成的设备损坏和精度劣化,通过修理,更换已经磨损、老化、腐蚀的零部件,使设备性能得到恢复。按修理的程度,一般可分为大修(全部修理)、中修(修理或更换部分主要零件与基础件)和小修(局部修理)
22	计划预修制	指根据设备磨损规律,有计划地对设备进行日常维护保养、检查、校正和修理,以保证设备经常处于良好状态的一种设备维修制度
23	快速修理	指采用先进的修理技术和组织措施,以最快的速度完成设备修理工作的一种方法,目的是尽量缩短因修理而造成的设备停歇时间
24	修理周期定额	<p>包括:①修理周期,指相邻两次大修之间的时间间隔;②修理间隔期,指两次修理(不论是 大修、中修或小修)之间的时间间隔;③修理周期结构,指在一个修理周期内,大修、中修、小修、定期检查的次数和排列顺序。如图所示</p> <p>图中: K—大修 C—中修 M—小修 O—定期检查</p>

(续)

序号	项 目	说 明
25	修理工作定额	<p>包括：①修理复杂系数，指不同设备的修理复杂程度，是用来计算不同设备的修理工作量的假定单位。它是由设备的结构特点、工艺特性、零部件尺寸等因素决定的。设备越复杂，修理工作量越大，则修理复杂系数越高。②修理工作劳动量定额，指企业为完成设备的修理工作所需的劳动时间标准。通常用一个修理复杂系数所需的劳动时间来表示。例如一个修理复杂系数的机床大修钳工工作量定额为40h，机械加工工作量定额为20h，其他工作劳动量定额为4h，总计为64h。③修理停歇时间定额，指从设备停止工作到修理工作结束，经质量检查合格验收为止所经历的时间标准；④修理所需的材料、配件和费用定额</p>
26	固定资产折旧法	<p>主要有：①年限平均法，指固定资产在使用年限内平均地分摊其折旧费用的方法。其计算公式为</p> $\text{年折旧费} = \frac{\text{固定资产原值} - \text{预计报废净残值}}{\text{固定资产预计使用年限}}$ <p>②工作量法，指将固定资产折旧总额除以固定资产使用期的工作总量的方法。其计算公式为</p> $\text{单位工作量折旧费} = \frac{\text{固定资产原值} - \text{预计报废净残值}}{\text{规定的总工作量}}$ $\text{年折旧费} = \text{该年工作量} \times \text{单位工作量折旧费}$ <p>③加速折旧法，指在折旧费的分摊上，前几年比后几年多的方法，一般采用双倍余额递减法计算。其计算公式为</p> $\text{年折旧率} = \frac{2}{\text{使用年限}} \times 100\%$ $\text{年折旧费} = \text{固定资产帐面净值} \times \text{年折旧率}$
27	设备事故	<p>指由于人为或自然灾害的原因造成的设备及附件的损坏。一般有以下几种：①责任事故，指由于操作错误、维护保养不良、检修不及时等人为过失而造成的事故；②质量事故，指由于设备的设计、制造、安装质量不良等因素所导致的事故；③自然事故，指非人力所能抗拒和消除的自然灾害（如洪水、风灾、雷击、地震等）所造成的事故</p>
28	事故处理三不放过	<p>指：①设备事故原因分析不清不放过；②事故责任者与群众未受到教育不放过；③没有防范措施不放过</p>
29	设备改造与更新	<p>设备改造指利用先进的科学技术成就来提高原有设备的性能、效率，进行现代化改造的过程，是设备在质上的提高。设备更新指用新的设备更换在技术上或经济上不宜继续使用的设备</p>
30	备件管理	<p>指对备件的生产、订货与供应的组织和管理。包括备件储备范围、形式及备件储备定额的制订等</p> <p>在修理设备时，用新的或修复的零件来更换已磨损到不能用或损坏了的零件，称为“配件”。为了缩短设备修理停歇时间，在备件库内经常储备一定数量的配件，称为“备件”</p> <p>备件储备范围包括：①使用期限不超过修理间隔期的易损零件；②使用期限大于修理间隔期，但消耗量大的易损件；③大型的、复杂的和某些普通常用的锻铸件；④所有重、专、精、动和关键设备的全部配件；⑤生产周期长的零件和外购件；⑥外购件和标准件</p> <p>备件储备的形式主要有：①成品储备；②半成品储备；③毛坯储备；④成套储备；⑤部件储备等</p>

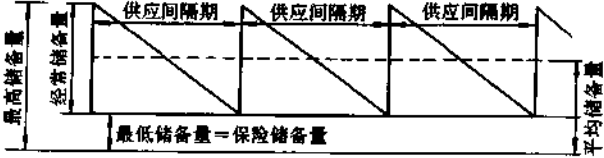
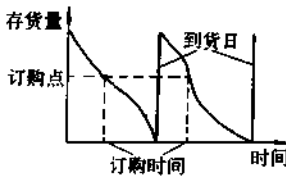
(六) 现代企业的物资管理

现代企业的物资管理知识, 如表 JC13-6 所示。

表 JC13-6 现代企业的物资管理知识

序号	项目	说明
1	物资	指物质资料。通常指用于社会再生产的主要原材料、辅助材料、燃料、动力、工具、配件等物质生产资料
2	物资管理的任务	主要有: ①保证物资供应; ②节约物资消耗; ③加速物资周转; ④降低物资费用
3	物资管理内容	主要有: ①编制物资计划; ②组织物资供应; ③控制库存物资数量, 搞好仓储管理; ④搞好物资消耗定额管理; ⑤建立健全物资管理制度
4	原材料	原料指经过人类劳动取得的劳动对象。材料指经过进一步加工的原料。原材料是构成产品实体的主要物质要素
5	辅助材料	指在生产过程中, 有助于产品的形成, 但不构成产品主要实体的材料。如油漆、润滑油、催化剂等
6	燃料	指产生热能、动能的可燃物质, 如煤、石油、天然气、焦炭、煤气、核燃料等
7	低值易耗品	指单价低于规定限额, 使用年限不满一年的劳动手段, 如某些工具、仪器仪表、玻璃器皿等
8	包装物	指为了包装本厂的产品而备的各种包装用品。如桶、箱、瓶、袋、薄膜、绳索等
9	配件	指产品结构中由外厂供应的各种零、部件, 以及单机配套范围内的附属品(配件的另一含义参看表 JC13-5 序号 30)
10	物资消耗	指从取得物资到制成成品这个过程中所消耗的物资, 一般由三个方面构成: ①零件(产品)净重。指按图纸要求加工后的零件(产品)重量所消耗的原材料; ②工艺性损耗。指在产品制造过程中, 由于工艺技术上的需要而产生的原材料损耗。如料头、锯口、切屑、烧损等; ③非工艺性损耗。指由于材料供应规格不合要求, 运输、保管不善和废品等非工艺技术需要造成的原材料损耗
11	物资消耗定额	指在一定条件下生产单位产品或完成单位工作量所消耗的物资数量标准。可分为工艺消耗定额和物资供应定额两种。其计算公式为 $\text{单位产品原材料工艺消耗定额} = \text{单位产品的净重} + \text{各种工艺性消耗的总和}$ $\text{单位产品物资供应定额} = \text{工艺消耗定额} \times (1 + \text{物资供应系数})$ $\text{物资供应系数} = \frac{\text{单位产品非工艺性损耗}}{\text{工艺消耗定额}}$
12	制订物资消耗定额的方法	主要有三种: ①技术计算法, 指根据产品设计和工艺要求, 在进行科学分析和技术计算的基础上确定物资消耗定额的方法。②统计分析法, 指根据物资消耗统计资料, 经过分析研究, 并考虑到计划期内生产技术组织条件变化等因素来制订物资消耗定额的方法。③经验估算法, 指根据有关人员的经验, 参考有关技术文件和产品实物, 并考虑到计算期内有关影响因素和变化情况来制订物资消耗定额的方法。技术计算法比较精确, 但工作量较大; 统计分析法和经验估算法不够精确, 却简便易行。在实际工作中, 往往把这几种方法结合起来运用

(续)

序号	项 目	说 明
13	物资储备定额	<p>指在一定条件下,为保证生产正常进行所必需的、最经济合理的物资储备数量标准。它由日常生产周转需要的经常储备和预防意外需要的保险储备构成。其计算公式为</p> $\text{经常储备定额} = \frac{\text{平均每日需要量}}{\text{需要量}} \times (\text{平均供应间隔天数} + \text{验收入库天数} + \text{使用前的准备天数})$ <p>平均供应间隔天数,指在物资分批进行供应中,前后相邻两批物资供应的间隔天数的平均数,如图所示</p>  <p>The diagram illustrates inventory levels over time. The vertical axis represents inventory quantity, and the horizontal axis represents time. A sawtooth pattern shows inventory decreasing linearly between supply intervals. The '最低储备量 = 保险储备量' (Minimum stock level = Insurance stock level) is indicated at the bottom of the inventory troughs. Labels include '供应间隔期' (Supply interval), '验收入库' (Acceptance and receipt), and '消耗速率' (Consumption rate).</p>
14	库存量控制	<p>指对物资库存量变化的动态掌握和调整,以便于适时、适量地提出订购或处理积压</p> <p>库存量控制标准是储备量定额。实际库存量超过最高储备定额,说明物资有积压;实际库存量降至最低储备定额之下,说明生产有停工待料的危险</p> <p>库存量控制的方法有两种:①定期库存控制法,指按预先规定的时间间隔盘点库存量,并提出订购。订购批量根据盘点时的实际库存量和下一个进货周期的预计需要量而定;②定量库存控制法,指实际库存量降至订购点时提出订购。每次订购数量相同而订购时间不固定。如图所示</p>  <p>The diagram shows inventory control. The vertical axis is '存货量' (Inventory quantity) and the horizontal axis is '时间' (Time). A curve shows inventory decreasing until it reaches a '订购点' (Reorder point). A vertical line marks the '到货日' (Arrival date). The interval between the reorder point and arrival date is labeled '订购时间' (Ordering time).</p>
15	物资供应计划	<p>指企业计划期内为保证生产正常进行而确定的所需各种物资的计划。其内容包括:①编制物资供应目录;②确定各种物资的需用量;③确定计划期初和期末的储备量;④编制物资平衡表,确定物资采购量等</p>
16	物资供应方式	<p>指物资由生产企业转移到需要单位的流通形式,主要有两种:①直达供应,即物资由生产企业直接转移到需要单位的供应方式;②中转供应,即需要单位从中转机构取得物资的供应方式。采用哪种供应方式,要视物资的性质、需要量、运输条件、供应网点等情况而定</p>
17	经济订购批量	<p>指订购费用和储存费用之和为最低的一次订购物资的数量。订购费用包括与订货和采购物资有关的差旅费、行政管理费、验收和搬运费等;储存费用包括物资占用资金的利息、仓库和运输工具的维修折旧费用、物资存储损耗等,其计算公式为</p> $\text{经济订购批量} = \sqrt{\frac{2 \times \text{一次订购费用} \times \text{年订购总量}}{\text{单位物资的年储存费用}}}$

(续)

序号	项目	说明
18	物资 ABC 分析法	<p>指按各种物资的重要程度、消耗数量价值大小、资金占用多少等情况将物资分成 A、B、C 三类,以便有区别地进行管理。A 类物资,品种约占 10%,而资金占用约占 65%;B 类物资,品种约占 35%,而资金占用约占 25%;C 类物资、品种约占 55%,资金占用约占 10%。如图所示</p>
19	仓库管理	指对仓库所储存的各种物资的入库验收、合理存放;限额发料、回收利用和清仓盘点等管理工作
20	物资合理利用	指对物资量材使用,发挥最大效用。其措施是:①改进设计,减轻产品净重;②改进工艺,减少工艺性损耗,提高原材料利用率;③加强管理,减少非工艺性损耗;④修旧利废,实行综合利用

(七) 现代企业的劳动人事管理

现代企业的劳动人事管理知识,如表 JC13-7 所示。

表 JC13-7 现代企业的劳动人事管理知识

序号	项目	说明
1	劳动人事管理的任务	主要有:①开发人力资源;②协调人际关系;③实行安全生产,搞好劳动保护;④贯彻按劳分配原则,充分调动劳动者的积极性,促进企业的发展
2	人才开发	指对人才的选拔、人才的培养、人才的使用、人才的管理与激励等方面的工作
3	人事制度	指员工的招聘、录用、调配、培训、考核、晋升和辞退等方面管理制度的总称
4	劳动制度	指劳动组织、劳动定额、劳动计划、劳动报酬、劳动保护、劳动保险等方面管理制度的总称
5	劳动合同	指劳动者和企业订立的关于参加工作(劳务)、确定双方权利和义务的协议(契约)
6	定员	指在一定时期内和一定条件下,根据企业已定的生产经营方向和生产经营规模,规定的企业各类人员的数量界限
7	劳动定额	指劳动者在一定条件下完成某项工作消耗劳动量的标准。完成规定单位工作量所需的时间,称为“工时定额”。在规定的单位时间内必须完成的工作量,称为“产量定额”
8	工作研究	指为提高工效,研究合理的工作程度和有效的工作方法的一种管理技术。主要包括方法研究和时间研究。方法研究主要是对动作的分析和作业空间的合理布局,以减少不必要的动作,提高工作效率。时间研究是按照规定的工作方法完成指定工作所需时间的测定技术
9	工效学	指设计的机器和环境适合人的生理、心理特点,使人机匹配合理、环境舒适,达到提高工效、安全、健康目的的的的科学

(续)

序号	项目	说明
10	劳动计划	指企业在计划期内对职工人数、平均工资、劳动生产率及职工培训等方面的统筹安排
11	劳动生产率	指人们在生产中的劳动效率。它等于劳动者的生产成果与相应的劳动消耗之间的比率
12	劳动组织	指对劳动分工与协作的合理组织,其内容包括:①搞好劳动分工协作,编制定员,正确配备和节约使用劳动力;②进行作业组、工作地,工作轮班的组织和多机床管理;③运用工效学、管理心理学等科学原理,在总结先进经验的基础上,不断改进和完善劳动组织
13	工作地	指劳动者运用劳动工具对劳动对象进行加工制作的场所,工作地组织的内容包括:①合理装备和布置工作地,做到操作方便,消除不必要的动作、减少体力消耗、缩短辅助时间,提高劳动生产率;②保持良好的工作环境和工作秩序,使工作场地整洁、明亮、舒适、安全;③组织好工作地的供应服务工作,图、模、料、卡按质按量及时供应,按指定地点码放整齐,并及时做好设备检修、运输、化验和其它服务性工作
14	工作轮班	指在工作日内组织不同班次的劳动协作形式,它是劳动分工和协作在时间上的联系
15	作业组	指在劳动分工的基础上,把为完成某项工作而相互协作的劳动者组织起来的劳动集体
16	出勤率	指员工在制度规定时间内,实际参加工作的日数与制度规定应出勤日数的比率
17	工时利用率	指在制度工作时间内,实际工作时间与在册人员制度工作时间总数的比率
18	多机床管理	指一个工人或一组工人同时操作或看管多台机床的一种劳动组织形式。所能看管的机器台数,可用下式确定 $\text{可同时看管设备台数} = \frac{\text{某设备的机动时间}}{\text{其它设备的手动和机手开动时间之和}} + 1$
19	职务分析	指对企业各项工作和职务的性质、任务、责任、权力以及担任某项工作的人员应具备的基本条件进行分析、研究,为人事决策提供依据的方法。它是配人用人和工作评价的基础
20	职位分类	指对企业全部职务岗位按其业务性质和内容划分为若干职系、职级及职等 职系指将业务相同的所有职位归并到同一系列;职级指在同一职系内划分为若干等级,将工作繁简、责任大小、权力和资格条件相近的所有职位归并在同一等级;职等指不同职系、业务性质不同,但工作繁简、难易、权力、责任和资格条件等相当的职位,以便不同职系间的职级进行比较。职位分类是现代人事管理的基础
21	人事考核	指用人单位在一定时间内,通过一定方式,对工作人员的品质、性格、学识、工作业绩、工作能力、工作态度和健康状况等进行考察和评价,并以此作为确定工作人员的待遇、升降、奖惩及能力开发的重要依据 对工人进行考工定级,主要是依据《工人技术等级标准》,考核其“应知”的技术理论知识和“应会”的实际操作及“工作实例”。对行政干部和工程技术人员的考核,主要是依据《干部考核标准》和国家颁发的专业技术职务(职称)的有关规定,对其“德、能、勤、绩”并以“实绩”为重点进行考核
22	晋升	指工作人员由原来的职位调任到另一承担更大责任的职位。通常在考核的基础上进行的职称、职务的晋升同工资级别的提升是密切相关的
23	工资	指支付给职工的劳动报酬。工资形式有:①计时工资,指按职工的工资等级标准和实际工作时间核算和支付的劳动报酬;②计件工资,指按职工实际完成的合格品数量和计件单价计算和支付的劳动报酬;③浮动工资,指以职工的工资等级标准为基础,将其部分或全部工资浮动,按职工个人劳动态度、贡献大小和企业经营成果好坏所支付的劳动报酬
24	劳动分红	指企业年终结算,根据经营成果和盈利情况,分配给职工一次性的劳动报酬

(续)

序号	项目	说明
25	奖金	指对职工提供的超额劳动所支付的带有奖励性质的劳动报酬。它是工资的辅助形式。奖金形式主要有：①综合奖，它以职工全面完成各项技术经济指标为得奖条件（其中有的指标可作为得奖的主要指标）；②单项奖，它以职工完成某一项指标为得奖条件（可附以一项或几项相关指标为辅助条件）
26	津贴	指为补偿职工额外的或特殊的劳动消耗，以及为保证职工的工资水平不受特殊条件影响而支付给职工的劳动报酬
27	股金制度	指出资人按照章程认购公司股份和缴纳款项，由公司发给股票的制度。企业年终结算有盈利时，凭股票可享受一次性的股金分红
28	集体福利	指企业为职工提供的各种福利和文化设施，如工作餐、疗养、旅游以及兴办的图书阅览室、俱乐部等
29	劳动保险	指保护职工身体健康，保障丧失劳动能力或失业的劳动者的基本生活需要而建立的一种物质保障制度
30	劳动保护	指为保护劳动者在生产过程中的安全与健康而采取的各种措施。如安全生产教育、安全生产责任制、安全技术措施（包括防护装置、噪声控制、防暑降温、防寒防冻、防粉尘、防辐射等）及劳保用品、保健食品等

(八) 现代企业的财务管理

现代企业的财务管理知识，如表 JC13-8 所示。

表 JC13-8 现代企业的财务管理知识

序号	项目	说明
1	财务管理的任务	主要有：①依法筹集并合理使用资金；②加强核算、分析，降低成本费用；③做好收支计划，提高经济效益
2	资本金	指企业在工商行政管理部门登记的注册资金。按照投资主体分为国家资本金、法人资本金、个人资本金以及外商资本金。企业筹集的资本金，企业依法享有经营权利。在企业经营期内，投资者除依法转让外，不得以任何方式撤回
3	资产	指企业拥有或者控制的能以货币计量的经济资源，包括各种财产、债权和其它资产 资产分为以下几种：①流动资产，指在一年内或者一个营业周期内变现或者耗用的资产，包括现金、存款、短期投资、存货、应收及预付款项；②固定资产，指使用寿命超过一年，单位价值在规定标准以上，并在使用过程中保持原有物质形态的资产，包括建筑物、机器设备、运输设备、工具器具等；③无形资产，指企业长期使用但无实物形态的资产，包括专利权、商标权、著作权、土地使用权、非专利技术、商誉等；④递延资产，指不能计入当期损益，应在以后年度内分期摊销的各项费用，包括开办费、租入固定资产的改良支出等；⑤其它资产，指除以上各项目以外的资产
4	存货	指在生产经营过程中为销售或者耗用而储备的物资，包括材料、燃料、低值易耗品、在产品、半成品、协作件及商品等
5	对外投资	指企业以现金、实物、无形资产或者购买股票、债券等有价证券方式向其它单位的投资，包括：①短期投资，指能够随时变现、持有时间不超过一年的有价证券以及不超过一年的其它投资；②长期投资，指不准备随时变现、持有时间在一年以上的有价证券以及超过一年的其它投资

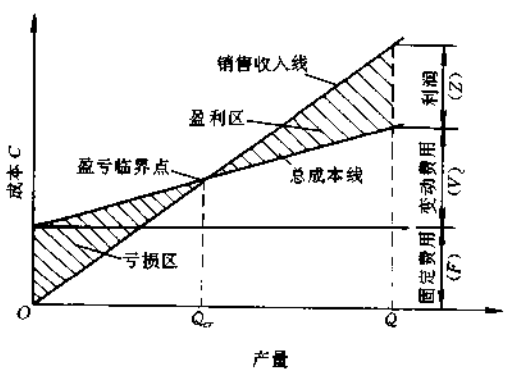
(续)

序号	项目	说明
6	开办费	指企业在筹建期间开支的费用,包括筹建期间人员工资、办公费、培训费、差旅费、印刷费、注册登记费、汇兑净损失等
7	价格	指商品价值的货币表现,一般由生产成本、期间费用、税金和利润构成
8	生产成本	指企业为生产经营商品和提供劳务等发生的各项直接支出,包括:①直接材料,指企业在生产经营过程中实际消耗的、可直接计入产品成本的原材料、辅助材料、备品配件、外购半成品、燃料、动力、包装物以及其它直接材料;②直接工资,指企业直接从事产品生产人员的工资、奖金、津贴和补贴;③其它直接支出,指直接从事产品生产人员按其工资总额的14%提取的职工福利费;④制造费用,指企业各生产单位为组织和管理生产所发生的各项费用,包括生产单位管理人员工资及福利费,生产单位的设备折旧费、修理费、机物料消耗、低值易耗品摊销、取暖费、办公费、水电费、差旅费、运输费、保险费、设计制图费、试验检验费、劳保费、修理期间停工损失等
9	期间费用	指由企业统一负担、直接计入当期损益的费用,包括:①销售费用,指在销售产品或者提供劳务过程中发生的应当由企业负担的运输费、装卸费、包装费、保险费、展览费、差旅费、广告费以及专设销售机构的人员工资和其它经费等;②管理费用,指由企业统一负担的公司经费、工会经费、职工教育经费、劳动保险费、待业保险费、董事会会费、咨询费、诉讼费、税金、土地使用费、技术转让费、技术开发费、无形资产摊销、开办费摊销、业务招待费、坏帐损失、上交上级管理费以及其它管理费用;③财务费用,指企业经营期间发生的利息净支出、汇兑净损失、银行手续费等
10	企业成本费用	<p>企业成本费用=生产成本+期间费用,如下所示</p> <div style="text-align: center;"> <pre> graph LR A[企业成本费用] --- B[生产费用] A --- C[销售费用] B --- D[直接材料] B --- E[直接工资] B --- F[其它直接支出] B --- G[制造费用] C --- H[管理费用] C --- I[财务费用] D --- J[生产成本] E --- J F --- J H --- K[企业期间费用] I --- K </pre> </div>
11	工缴费	一指企业的原材料或半成品委托外单位加工而支付的加工费用,或因完成外单位委托的来料加工业务而取得的收益,二指产品制造成本中,扣除材料成本以外的其它项目成本的总和
12	营业收入	指企业在生产经营活动中,由于销售商品、提供劳务等取得的收入,包括基本业务收入和其它业务收入
13	利润	指在企业收入中,扣除成本、费用和流转税及附加税后的余额。一般包括:①营业利润,指营业收入扣除成本、费用和流转税及附加税后的数额;②投资净收益,指投资收益扣除投资损失后的数额;③营业外净收益,指与企业的生产经营没有直接关系的收入(如租金收入、非工业性事业收入)扣除支出(如企业搬迁费、转出调出职工欠款等)后的数额
14	税金	指按照国家税法 and 规定的标准,企业向国家应缴纳的税款金额。一般包括产品税、增值税、营业税、城建税、资源税和教育附加税等
15	盈余公积金	指企业按照规定从税后利润中提取的积累资金
16	公益金	指主要用于企业职工集体福利设施支出的公积金

(续)

序号	项目	说明
17	所得税	指企业的利润按照国家规定做相应的调整后, 依据税法所定标准向国家缴纳的税款金额
18	负债	指企业所承担的能以货币计量、需以资产或劳务偿付的债务, 包括: ①长期负债, 指偿还期限在一年或者超过一年的一个营业周期以上的债务, 包括长期借款、应付长期债券、长期应付款项等; ②流动负债, 指可以在一年内或者超过一年的一个营业周期内偿还的债务, 包括短期借款、应付短期债券、预提费用、应付及预收款项等
19	财务报告	指反映企业财务状况和经营成果的总结性书面文件, 包括: ①资产负债表, 指反映企业在某一时点上的资产和负债及所有者权益状况的报表(资产=负债+所有者权益); ②损益表, 指反映企业在一定期间内的经营成果及其分配情况的报表; ③财务状况变动表, 指反映一个会计年度内, 流动资金来源和运用以及构成流动资金的各项流动资产和流动负债项目增减变动情况的报表; ④利润分配表, 指反映企业当年利润总额及年初结存未分配利润的分配情况的年度报表(损益表的附表之一); ⑤主营业务收支明细表, 指反映企业各项主营业务的收入、成本、费用、税金以及实现营业利润情况的会计报表(损益表的附表之二)
20	资金成本	指因筹集和使用资金而付出的筹资费(如向银行借款而支付的手续费, 委托金融机构代理发行股票、债券而支付的注册费、代理费等)和使用费(如利息、股息、红利等)
21	货币时间价值	指货币在使用过程中随时间的推移而发生的增值
22	现金流量	指在企业资本循环过程中发生的现金(货币资金)流入与流出数量的统称。现金流量表指反映一定期间现金收入和支出情况的会计报表
23	所有者权益	指企业投资人对企业资产的所有权。包括投资人对企业的投入资本以及形成的资本公积金、盈余公积金和未分配利润等。反映所有者权益的重要指标是所有者权益收益率。其计算公式为 $\text{权益收益率} = \frac{\text{利润总额} + \text{营业税金}}{\text{所有者权益平均余额}} \times 100\%$
24	利润率	指企业的利润额与其相关项目的比率, 是反映企业获利能力大小、经济效益高低的相对指标。主要有以下几种: ①资本金利润率; ②销售利润率; ③成本费用利润率等。其计算公式分别为 $\text{资本金利润率} = \frac{\text{利润总额}}{\text{资本金平均余额}} \times 100\%$ $\text{销售利润率} = \frac{\text{产品销售利润}}{\text{产品销售收入净额}} \times 100\%$ $\text{成本费用利润率} = \frac{\text{利润总额}}{\text{成本费用总额}} \times 100\%$

(续)

序号	项目	说明
25	量本利分析	<p>指利用固定费用和变动费用与产量之间的关系,对产量、成本、利润进行的综合分析。固定费用指不随产量变动而变动的成本费用。变动费用指随产量变动而等比例变动的成本费用。量、本、利之间的关系如图所示</p> 

主要参考文献

- 1 中国企业管理百科全书编辑部编. 中国企业管理百科全书. 北京: 企业管理出版社, 1984
- 2 国家经贸委经济干部培训司编. 四大体制改革与建立现代企业制度. 北京: 中国经济出版社, 1994
- 3 蔡炯, 刘淑琼编. 工业企业经营管理. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1980
- 4 蒋俊编. 工业企业生产管理. 天津: 南开大学出版社, 1990
- 5 中华人民共和国财政部颁布. 企业财务通则, 企业会计准则, 1992
- 6 夏乐书, 刘明辉编. 新编企业财务管理. 沈阳: 辽宁人民出版社, 1993
- 7 张永安, 张晓文编著. 企业人事管理. 广州: 科学普及出版社广州分社, 1988

下篇 供电技术专业知识
(ZY)

一、供电概论 (ZY1)

(一) 常用的供电技术基本名词术语

常用的供电技术部分基本名词术语，如表 ZY1-1 所示。

表 ZY1-1 常用的供电技术基本名词术语

序号	名词术语	含义说明
1	供电 power supply	指供电部门按技术标准和协议（例如频率、电压、连续性、最大需量、供电点、计费方式等）向用户提供电能的服务
2	用户 consumer	指从供电部门取得电能的一方，也称“用电负荷”
3	安全性 safety	指在电能的供应、分配和使用中，不发生人身事故和设备事故
4	可靠性 reliability	①指在规定条件下和规定时间内供电系统完成其供电功能的能力（IEC） ②指供电系统满足用户对供电连续性的要求
5	优质 quality	指供电系统满足用户对电能质量（包括电压质量和频率质量等）的要求
6	经济性 economy	指供电系统的投资少，运行费用低，并尽可能地节约电能和减少有色金属消耗量
7	合理性 rationality	指在供电工作中，恰当地处理局部和全局、当前和长远等关系，既照顾局部和当前的利益，又有全局观点，能顾全大局，适应发展
8	故障，事故 incident	指起因于供电系统外部或内部，能对设备或系统产生不良影响、干扰其正常运行的事件
9	电压质量 quality of voltage	指按照国家标准或规范对供电系统电压的偏差、波动和波形的一种质量评估，属电能质量的重要组成部分
10	电压偏差 voltage deviation	指供电系统由运行方式改变和负荷缓慢变化引起的各点实际电压与系统额定电压之差。电压偏差常用其对系统额定电压的百分比值来表示
11	电压波动 voltage fluctuation	指供电系统的一系列的电压变动或电压包络线的周期性变动。它用电压调幅波（即电压幅值包络线的波形）中相邻两个极值电压方均根值之差对额定电压的百分比值来表示。其值的变化速度应不低于每秒 0.2%（低于此值的不计）
12	电压闪变 voltage flicker	指供电系统中因负荷急剧变动造成电压急剧升降，引起照明闪烁以致使人眼感到不适的现象
13	谐波源 harmonic source	指向公用电网注入谐波电流或在公用电网中产生谐波电压的电气设备。冶金、化工等工业企业以及电气机车的换流设备和电弧炉等各种非线性用电设备接入电网后，均向电网大量注入谐波电流，都属于谐波源。发电机、变压器和电动机等电力设备，如果参数选择不当，或设计结构和制造工艺不良，亦向电网注入大量谐波电流。因此发电机、变压器等电力设备也可能成为谐波源

(续)

序号	名词术语	含义说明
14	电压或电流的谐波含量 harmonic content for voltage or current	指从电压或电流的周期性交流量中减去其基波分量后所得的量 谐波电压含量 $U_H = \sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} (U_k)^2}$ 谐波电流含量 $I_H = \sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} (I_k)^2}$ 式中, U_k 、 I_k 分别为第 k 次的谐波电压和电流 (方均根值)
15	谐波含有率 harmonic ratio (HR)	指周期性交流量中含有的第 k 次谐波分量的方均根值与基波分量的方均根值之比 (用百分数表示) 第 k 次谐波电压含有率 HRU_k 为 $HRU_k = \frac{U_k}{U_1} \times 100\%$
16	总谐波畸变率 total harmonic distortion (THD)	指周期性交流量中的谐波含量的方均根值与其基波分量的方均根值之比 (用百分数表示) 电压总谐波畸变率 THD_u 为 $THD_u = \frac{U_H}{U_1} \times 100\%$ 电流总谐波畸变率 THD_i 为 $THD_i = \frac{I_H}{I_1} \times 100\%$
17	(线路的) 电压降, 电压降落 voltage drop (of a line)	指线路首端电压与线路末端电压的相量 (矢量) 差。以末端电压相量为基轴, 电压降在此轴上的正投影, 称为“电压降纵分量”, 用 ΔU 表示。电压降在与基轴相垂直的轴上的投影, 称为“电压降横分量”, 用 δU 表示
18	(线路的) 电压损耗 voltage losses (of a line)	指线路首端电压与线路末端电压的代数 (算术) 差。在地区电网 (包括工厂供电系统) 中, 可认为电压降纵分量 ΔU 等于电压损耗。又称“电压损失”
19	不对称度 asymmetry	指衡量多相系统平衡状态的一个指标。多相系统的电压负序分量与电压正序分量的比值, 称为“电压不对称度”。多相系统的电流负序分量与电流正序分量的比值, 称为“电流不对称度”。不对称度通常以百分值 (%) 表示
20	频率质量 quality of frequency	指供电系统的电压频率偏离额定频率值是否符合技术标准或协议的要求。我国的电力系统 (含供电系统) 额定频率 (即工业频率, 简称“工频”) 为 50Hz。按 GB1980—80《电气设备额定频率》规定: 电力系统及设备, 其额定频率的允许偏差值为 $\pm 1\%$, 即 $\pm 0.5\text{Hz}$
21	供电连续性 continuity of power supply	指供电系统对用户连续不断地供电的程度, 与“供电可靠性”的含义相同
22	最大需量 maximum demand	指用户所需的最大容量 (kW); 也指用户全月或全年所需的最大电能量
23	企业供电系统 power supply system for business	指从电力系统来的电源线路进企业起到企业内高低压用电设备进线端为止的整个电路系统, 包括企业内的变、配电所和所有的高低电压配电路。企业 (含工厂) 供电系统属电力系统的一部分

(续)

序号	名词术语	含义说明
24	总降压变电所 head step-down substation	指供电系统中将电力系统送来的高压电源降为高压配电电压的变电所,或称“总降压变电站”,简称“总降压站”
25	高压配电所 high-voltage distribution substation	指从电力系统或总降压变电所接受高压电能,然后以同一高压配电给各用电单位或车间变电所的场所,或称“高压配电站”
26	车间变电所 shop substation	指供电系统中将高压配电电压降为低压配电电压的变电所,因它多为车间供电用而得名,或称“车间变电站”
27	终端变电所 final substation	指电力系统末端的变电所,如车间变电所即属于一种终端变电所,经它降压后的电能直接供低压用电设备使用
28	一次回路,一次电路 primary circuit	指电力系统中担负着输送、变换和分配电能任务的电路,亦称“主回路”或“主电路”,亦称“一次系统”
29	一次设备 primary equipment	指一次回路的电气设备,如电力变压器、各种开关电器、熔断器、避雷器、电容器、电抗器等,亦称“一次元件”
30	二次回路,二次电路 secondary circuit	指电力系统中用来控制、指示、监测和保护一次回路及其中设备的辅助电路,亦称“二次系统”
31	二次设备 secondary equipment	指二次回路的电气设备,如操作开关、信号设备、测量仪表、继电器、自动装置等,亦称“二次元件”
32	母线 busbar	指汇集和分配电能的导体,又称“汇流排”。母线装设于变电所及配电装置中,通常采用铜导体和铝导体,最常用的为一种 LMY 型硬铝母线

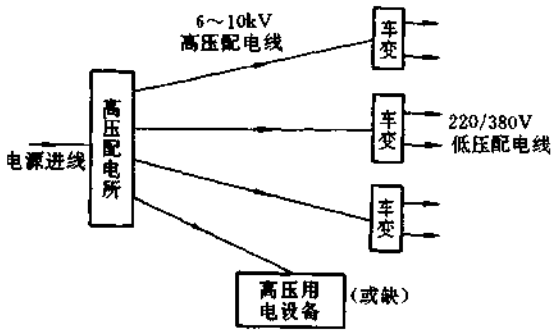
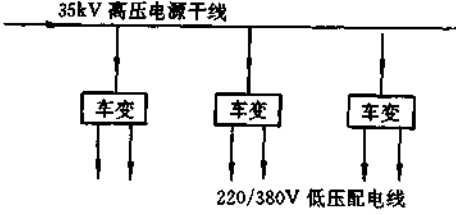
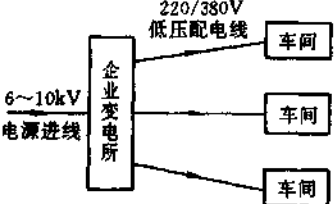
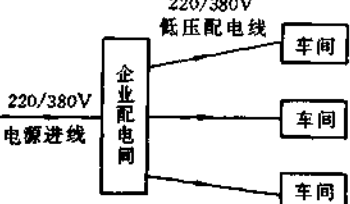
(二) 企业供电系统的组成及其运行要求

企业供电系统(含工厂供电系统)的组成及其运行要求,如表 ZY1-2 所示。

表 ZY1-2 企业供电系统的组成及其运行要求

序号	项 目	说 明
1	企业供电系统的组成	
1.1	具有总降压变电所的企业供电系统	

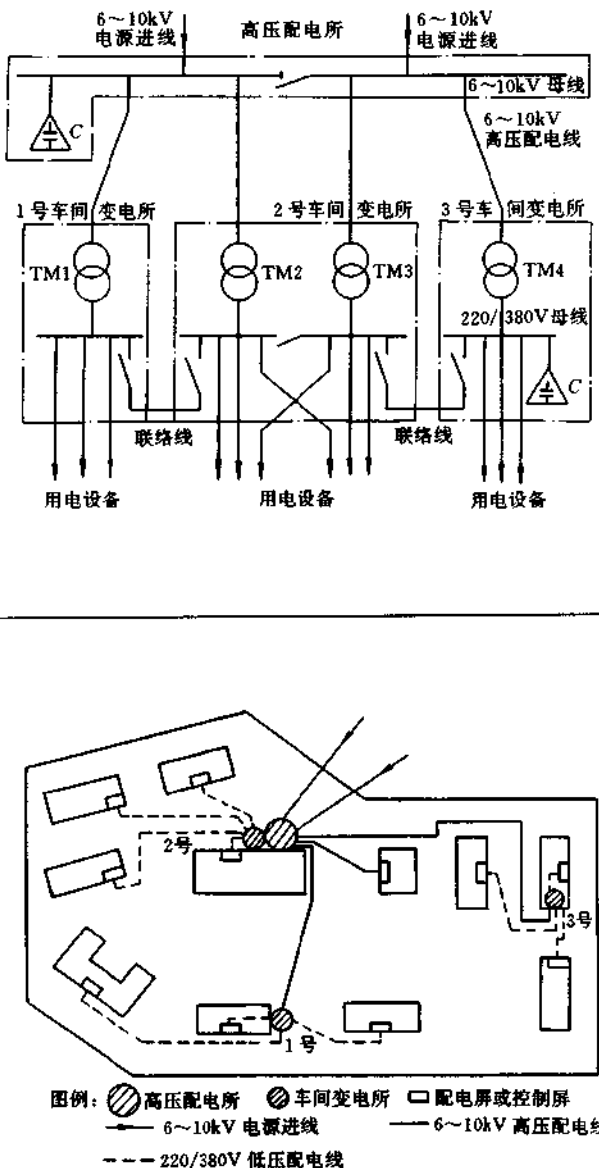



(续)

序号	项 目	说 明
1.2	具有高压配电所的企业供电系统	
1.3	35kV 高压深入负荷中心的企业供电系统	
1.4	只有一次降压的企业供电系统	
1.5	只有低压配电的企业供电系统	
2	企业供电系统设计和运行的要求	
2.1	安全	参看表 ZY1-1 序号 3
2.2	可靠	参看表 ZY1-1 序号 4
2.3	优质	参看表 ZY1-1 序号 5
2.4	经济	参看表 ZY1-1 序号 6
2.5	合理	参看表 ZY1-1 序号 7

(三) 企业供电系统示例

企业供电系统示例如表 ZY1-3 所示。

表 ZY1-3 企业供电系统示例

序号	项 目	说 明
1	具有高压配电所的企业供电系统 (示例)	 <p>6~10kV 电源进线 高压配电所 6~10kV 电源进线</p> <p>6~10kV 母线 6~10kV 高压配电线</p> <p>1号车间 变电所 2号车间 变电所 3号车间 变电所</p> <p>TM1 TM2 TM3 TM4</p> <p>220/380V 母线</p> <p>联络线 用电设备 用电设备 用电设备</p> <p>1.1 系统图 (略图)</p> <p>1.2 平面布线图 (示意图)</p> <p>图例:  高压配电所  车间变电所  配电屏或控制屏</p> <p>—— 6~10kV 电源进线 —— 6~10kV 高压配电线</p> <p>----- 220/380V 低压配电线</p>

(续)

序号	项 目	说 明
2	具有总降压变电所的企业供电系统 (示例)	
2.1	系统图 (略图)	
2.2	平面布线图	参看本表序号 1.2 的平面布线图, 只是进线电源改为 35~220kV, 高压配电所改为总降压变电所, 其余不变

(四) 企业供电系统的电压和电压质量

1. 我国规定的三相交流电网和电力设备的额定电压 根据我国国家标准 GB156—93《标准电压》规定的系统标称电压和电气设备额定电压, 结合我国电力设备的生产实际, 我国的三相交流电网和电力设备的额定电压值综合如表 ZY1-4 所示。GB156—93 的详细规定参看表 JC11—24~27。

表 ZY1-4 我国三相交流电网和电力设备的额定电压 (据 GB156—93)

类别	电网和用电设备 额定电压/kV	发电机额定电压 /kV	电力变压器额定电压/kV	
			一次绕组	二次绕组
低压	0.38	0.4	0.38	0.4
	0.66	0.69	0.66	0.69
高压	3	3.15	3, 3.15	3.15, 3.3
	6	6.3	6, 6.3	6.3, 6.6
	10	10.5	10, 10.5	10.5, 11
	—	13.8, 15.75, 18, 20, 22, 24, 26	13.8, 15.75, 18, 20, 22, 24, 26	—
	35	—	35	38.5

(续)

类别	电网和用电设备 额定电压/kV	发电机额定电压 /kV	电力变压器额定电压/kV	
			一次绕组	二次绕组
高压	66	—	66	72.5
	110	—	110	121
	220	—	220	242
	330	—	330	363
	500	—	500	550
关于额定 电压标准 的说明	用电设备接在电网中,因线路中有电压损耗,实际的端电压互有差异,但为了用电设备的大批量生产,故统一采用电网额定电压作为用电设备的额定电压。在线路首端,用电设备的端电压较额定电压略高,而在线路末端,用电设备的端电压较额定电压略低,而在线路中间,端电压与额定电压相等	由于线路的允许电压偏差(参看表ZY1-6)一般是±5%,因此为了维持线路的平均电压为额定电压,线路首端电压应比线路额定电压高5%,而线路末端电压则比线路额定电压低5%。发电机是接在线路首端的,所以发电机额定电压规定要高于线路(电网)额定电压5%	①电力变压器的一次绕组在电网中相当于用电设备,所以除与发电机直接相连的以外,其额定一次电压应等于电网额定电压,例如0.38,0.66,3,6,10,35,66…kV等 ②电力变压器的一次绕组与发电机直接相连时,其额定一次电压应等于发电机额定电压,例如3.15,6.3,10.5,13.8……kV等	电力变压器的额定二次电压为它的一次绕组加上额定电压而其二次绕组开路时的电压;但在满载时,变压器绕组内有约5%的电压降。因此:①如变压器二次侧线路不长或直接接用电设备时,变压器额定二次电压应高于电网额定电压5%,以补偿变压器内部5%的电压降。②如变压器二次侧线路长(高压电网),则额定二次电压应高于电网额定电压10%,(除补偿内部5%电压降外,尚应高于电网额定电压5%)

2. 企业供电系统的电压选择 如表ZY1-5所示。

表ZY1-5 企业供电系统的电压选择

序号	项目	说 明			
1	企业供配电电压选择的原则	①用电企业的供电电压应根据用电容量、用电设备特性、供电距离、供电线路的回路数、当地公共电网现状及其发展规划等因素经技术经济比较确定 ②当供电电压为35kV及以上时,用电企业的配电电压应采用10kV。如企业有6kV用电设备时,可经10/6kV中间变压器供电。如企业中6kV用电设备的总容量较大,选用6kV经济合理时,则宜采用6kV为配电电压。如企业有3kV用电设备时,应配用10(6)/3kV专用变压器供电。低压配电电压应采用220/380V ③当供电电压为35kV,能减少配、变电级数,简化接线,及技术经济合理时,配电电压宜采用35kV ④用电设备容量在250kW或需用变压器容量在160kV·A及以下的小型企业,宜采用低压方式供电			
2	线路电压与输送功率和距离的关系	线路电压/kV	线路结构	输送功率/kW	输送距离/km
		0.38	架空线	≤100	≤0.25
			电缆线	≤175	≤0.35
		6	架空线	≤1000	≤10
电缆线	≤3000		≤8		

(续)

序号	项目	说 明			
		线路电压/kV	线路结构	输送功率/kW	输送距离/km
2	线路电压与输送功率和距离的关系	10	架空线	200~2000	5~20
			电缆线	≤5000	≤10
		35	架空线	2000~10000	20~50
		110	架空线	10000~50000	50~150
		220	架空线	100000~500000	200~300

3. 供电系统的电压偏差允许值及其减小措施 如表 ZY1-6 所示。表中数据主要依据 GB50052—95《供配电系统设计规范》，GB12325—90《电能质量·供电电压允许偏差》的规定列入“备注”。

表 ZY1-6 供电系统的电压偏差允许值及其减小措施 (据 GB50052—95 和 GB12325—90)

序号	项 目	说 明
1	正常运行情况下用电设备端子处的电压偏差允许值	
1.1	电动机	±5% (以额定电压百分数表示, 下同)
1.2	电气照明	①在一般工作场所, ±5% ②对于远离变电所的小面积一般工作场所, 难以满足①款的要求时, 可为+5%、-10% ③应急照明、道路照明和警卫照明等, +5%、-10%
1.3	其它用电设备	当无特殊规定时, ±5%
2	通过供配电系统设计减小电压偏差的措施	
2.1	合理选择变压器的电压比和电压分接头	由于电网各点的电压水平高低不一, 因此合理选择电力变压器的电压比 (如选 35±2×2.5%/10.5kV 的电压比还是选 38.5±2×2.5%/10.5kV 的电压比) 和电压分接头, 即可将供配电系统的电压调整在合理的水平上。但这只能改变电压水平而不能减小电压偏差范围
2.2	合理减少系统阻抗	由于供电元件的电压损耗与其阻抗成正比, 因此在技术经济合理时, 减少变压级数, 增加线路导线截面, 采用电缆供电, 可以减少电压损耗, 从而减小电压偏差范围
2.3	合理补偿无功功率	由于产生电压偏差的主要因素是系统中滞后的无功负荷所引起的系统电压损耗, 因此当负荷变化时, 相应地调整并联电容器的接入容量就可改变系统的电压损耗, 从而可在一定程度上减小电压偏差范围。但是如果因过补偿而多支出电费, 那也是不合理的
2.4	尽量使三相负荷平衡	在三相四线制系统中, 如果三相负荷分布不均衡, 将产生零序电压, 使中性点漂移, 一相电压降低, 另一相电压升高, 增大了电压偏差。同样, 线间负荷不平衡, 则引起线间电压不平衡, 也要增大电压偏差。因此应尽量使三相负荷平衡
2.5	变压器采用有载调压型	35kV 降压变电所的主变压器, 在电压偏差不能满足要求时, 应改用有载调压型变压器 6~10kV 配电变压器一般不宜采用有载调压型; 但在当地 6~10kV 电源电压偏差不能满足要求, 而用电单位有对电压要求严格的设备, 单独设置调压装置技术经济不合理时, 也可采用 6~10kV 有载调压变压器 35kV 以上电压的变电所中的降压变压器, 直接向 6、10 或 35kV 电网送电时, 应采用有载调压型, 而且宜采用“逆调压方式”, 即负荷大时, 电网电压向高调, 负荷小时, 电网电压向低调, 以补偿电网的电压损耗。逆调压的范围为额定电压的 0%~+5%

(续)

序号	项 目	说 明
	备注	GB12325—90《电能质量·供电电压允许偏差》规定： ①35kV及以上供电电压正、负偏差的绝对值之和不超过额定电压的10%。如供电电压上下偏差同号时，则按较大偏差的绝对值作为衡量依据 ②10kV及以下三相供电电压允许偏差为额定电压的±7% ③220V单相供电电压允许偏差为额定电压的+7%~-10%

4. 供电系统的电压波动与谐波问题 供电系统的电压波动和闪变及其抑制和允许值，如表 ZY1-7 所示，其中电压波动和闪变的抑制措施，是根据 GB50052—95《供配电系统设计规范》的规定，其中电压波动和闪变的允许值，是根据 GB12326—90《电能质量·电压允许波动和闪变》的规定。供电系统的谐波及其抑制和允许值，如表 ZY1-8 所示，其中谐波的抑制措施，是根据 GB50052—95 的规定，其中谐波电压限值和谐波电流允许值，是根据 GB/T14549—93《电能质量·公用电网谐波》的规定。

表 ZY1-7 供电系统的电压波动和闪变及其抑制和允许值 (据 GB50052—95 和 GB12326—90)

序号	项 目	说 明
1	电压波动和闪变的产生、危害及其抑制措施	
1.1	产生的原因	电压波动和闪变是由于负荷急剧变动引起的，特别是大型电弧炉和大型轧钢机等冲击性负荷的影响
1.2	引起的危害	电压波动和闪变可引起照明闪烁，显像管图像变形，电动机转速不均，电子设备、自控设备及某些仪器工作不正常，从而影响正常生产和生活
1.3	抑制的措施	①对负荷变动剧烈的大型电气设备，采用专用线供电 ②与其它负荷共用配电路径时，宜降低配电路径的阻抗 ③较大功率的冲击性负荷或冲击性负荷群与对电压波动、闪变敏感的负荷，宜分别由不同的变压器供电 ④对于大功率电弧炉的炉用变压器，宜由短路容量较大的电网供电，即由更高电压等级的电网供电，或采取其它措施，例如采用电抗器或采用静止无功补偿装置(SVC)等
2	电压波动和闪变的允许值 (据 GB12326—90)	
2.1	电压波动允许值	电力系统公共供电点，由冲击性功率负荷产生的电压波动允许值如下： 额定电压 10kV 及以下 2.5% 额定电压 35~110kV 2% 额定电压 220kV 及以上 1.6%
2.2	闪变电压允许值	电力系统公共供电点，由冲击性功率负荷产生的闪变电压允许值 ^① 如下： 对照明要求较高的白炽灯负荷 0.4% 其它一般性照明负荷 0.6%

① 闪变电压用“等效闪变值” ΔU_{10} 来表示。 ΔU_{10} 为电压调幅波中不同频率的正弦波分量的方均根值等效为 10Hz 频率时的 1min 平均值，以额定电压的百分值表示

$$\Delta U_{10} = \sqrt{\sum (a_f \Delta U_{f1})^2}$$

式中， ΔU_{f1} 为电压调幅波中频率为 f 的正弦波分量的 1min 方均根平均值，以额定电压的百分数表示； a_f 为人眼对不同频率 f 的电压波动而引起灯闪的敏感程度，称为“闪变视感系数”。 a_f 与 f 的关系如下表所示：

f/Hz	0.01	0.05	0.10	0.50	1.00	3.00	5.00	10.00	15.00	20.00	30.00
a_f	0.026	0.055	0.075	0.169	0.260	0.563	0.780	1.00	0.845	0.655	0.357

表 ZY1-8 供电系统的谐波及其抑制和允许值 (据 GB50052—95 和 GB/T 14549—93)

序号	项 目	说 明
1	谐波的产生、危害及其抑制措施	
1.1	产生的原因	<p>高次谐波主要是由电力系统中存在着的各种非线性元件产生的。产生高次谐波的元件很多,例如荧光灯和高压汞灯等气体放电灯,交流电动机,电焊机,变压器,感应电炉等,特别是大型晶闸管变流设备和大型电弧炉,产生的高次谐波电流最为突出,是造成电力系统中谐波干扰的最主要因素</p>
1.2	引起的危害	<p>①高次谐波电流可使变压器铁损明显增加,从而使变压器出现过热,不仅增加能耗,而且缩短使用寿命 ②使电机的铁损明显增加,且使电机转子发生振动现象,严重影响机械加工的产品质量 ③高次谐波对电容器的影响更为突出,含有高次谐波的电压加在电容器两端时,由于电容器对高次谐波的阻抗很小,因此电容器容易发生过热以致烧毁 ④使电力线路的电能损耗增加,使电缆绝缘损坏 ⑤使计算电费的感应式电度表的计算不准确 ⑥可使电力系统出现电压谐振,引起过电压,有可能击穿线路设备的绝缘 ⑦可能使继电保护和自动装置发生误动作或拒动,使计算机失控,电子设备误触发,电子元件测试无法进行 ⑧可对附近的通信线路和设备产生信号干扰等</p>
1.3	抑制的措施	<p>①供各类大功率的非线性用电设备的变压器由短路容量较大的电网供电,一般可由更高电压等级的电网供电或由主变压器更大的电网供电,电网短路容量越大,则承受非线性负荷的能力越高</p> <p>②对大功率静止整流器,采取下列措施:</p> <p>a. 提高整流变压器二次侧的相数,增加整流器的整流脉冲数。例如有一台整流变压器,二次侧有三角形和星形三相线圈各一组,各接三相桥式整流器,将这两个整流器的直流输出串联或并联(加平衡电抗)接到直流负荷,即可得到十二脉冲整流电路。整流脉冲数越高,次数低的谐波被消去,变压器一次侧的谐波含量就越少</p> <p>b. 多台相数相同的整流装置,使整流变压器的二次侧有适当的相位差。例如有两台Ydy(即Y/Δ-Y)联结的整流变压器,若将其中一台加移相线圈,使两台变压器的一次侧主线圈有15°相位差,则两台的综合效应在理论上可大大改善向电力系统注入的谐波</p> <p>c. 按谐波次数装设分流滤波器。由于静止整流器的直流负荷一般不经常波动,谐波次数和含量相对稳定,因此宜采取这种措施。分流滤波器如下图所示,每一谐波分流支路由R-L-C电路组成,利用串联谐振原理,将谐振频率调在需要消除的谐波的频率上。但这种方法的设备费用和占地面积较多,设计时应予考虑</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p>③宜采用 Dyn11 联结组别的三相配电变压器,三相整流变压器也宜采用 Yd 或 Dy 的联结方式。采用上述接线,可以消除 3 次及 3 的整数倍次的高次谐波,这些谐波在三角形联结的绕组内形成环流,不致注入公共电网中去</p>

(续)

序号	项 目	说 明														
2	公用电网谐波电压限值和谐波电流允许值 (据 GB/T 14549-93)															
2.1	公用电网谐波电压 (相电压) 限值	电网额定电压 /kV	电压总谐波畸变率 (%)		各次谐波电压含有率 (%)											
		0.38	5.0		奇次					偶次						
		6	4.0		3.2					1.6						
		10														
		35	3.0		2.4					1.2						
		66														
		110	2.0		1.6					0.8						
2.2	注入公用电网连接 点的谐波电流分量 (方均根值) 的允许值	额定 电压 /kV	基准短 路容量/ MV·A	谐 波 次 数												
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
		谐波电流允许值/A														
		0.38	10	78	62	39	62	26	44	19	21	16	28	13	24	
		6	100	43	34	21	34	14	24	11	11	8.5	16	7.1	13	
		10	100	26	20	13	20	8.5	15	6.4	6.8	5.1	9.3	4.3	7.9	
		35	250	15	12	7.7	12	5.1	8.8	3.8	4.1	3.1	5.6	2.6	4.7	
		66	500	16	13	8.1	13	5.4	9.3	4.1	4.3	3.3	5.9	2.7	5.0	
		110	750	12	9.6	6.0	9.6	4.0	6.8	3.0	3.2	2.4	4.3	2.0	3.7	
		额定 电压 /kV	基准短 路容量/ MV·A	谐 波 次 数												
				14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
		谐波电流允许值/A														
		0.38	10	11	12	9.7	18	8.6	16	7.8	8.9	7.1	14	6.5	12	
		6	100	6.1	6.8	5.3	10	4.7	9.0	4.3	4.9	3.9	7.4	3.6	6.8	
		10	100	3.7	4.1	3.2	6.0	2.8	5.4	2.6	2.9	2.3	4.5	2.1	4.1	
		35	250	2.2	2.5	1.9	3.6	1.7	3.2	1.5	1.8	1.4	2.7	1.3	2.5	
		66	500	2.3	2.6	2.0	3.8	1.8	3.4	1.6	1.9	1.5	2.8	1.4	2.6	
		110	750	1.7	1.9	1.5	2.8	1.3	2.5	1.2	1.4	1.1	2.1	1.0	1.9	
注: 同一公共连接点的每个用户向电网注入的谐波电流允许值, 按此用户在该点的协议容量与其公共连接点的供电设备容量之比进行分配																

主要参考文献

- 1 刘介才编. 工厂供电 (第2版). 北京: 机械工业出版社, 1991
- 2 苏文成主编. 工厂供电 (第2版). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 3 贺天枢, 赵叔玉主编译. IEC 电工电子标准术语词典. 北京: 中国标准出版社, 1992
- 4 国家标准 GB50052-95 供配电系统设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1996
- 5 国家标准 GB12325-90 电能质量·供电电压允许偏差. 北京: 中国标准出版社, 1990
- 6 国家标准 GB12326-90 电能质量·电压允许波动和闪变. 北京: 中国标准出版社, 1990
- 7 国家标准 GB/T 14549-93 电能质量·公用电网谐波. 北京: 中国标准出版社, 1994
- 8 国家标准 GB156-93 标准电压. 北京: 中国标准出版社, 1993
- 9 行业标准 JBJ6-96 机械工厂电力设计规范. 北京: 机械工业出版社, 1997

二、电力负荷及其计算 (ZY2)

(一) 有关电力负荷及其计算的名词术语

电力负荷及其计算的有关名词术语, 如表 ZY2-1 所示。

表 ZY2-1 有关电力负荷及其计算的名词术语

序号	名词术语	含义说明
1	电力负荷 electric power load	又称“电力负载”, 简称“负荷”或“负载”。它有两种含义: 一指耗用电能的用电设备或用电单位(用户), 如说重要负荷、不重要负荷等; 另一指用电设备或用电单位所耗用的电功率或电流大小, 如说轻负荷(轻载)、重负荷(重载)、空负荷(空载)和满负荷(满载)等
2	重要负荷 important load	指对供电可靠性要求相当高的一、二级负荷(参看表 ZY2-2)。如果突然中断其供电, 将在政治上、经济上造成很大或较大的损失, 如造成人身伤亡或重大设备损坏、大量产品报废等等
3	不重要负荷 not important load	指对供电可靠性要求不高的三级负荷(参看表 ZY2-2)。如果突然中断其供电, 在政治上、经济上造成的损失或影响不大, 如一般生活用电负荷和工厂中某些辅助车间的负荷
4	计算负荷 calculated load	指通过负荷的统计计算求出的, 用来按发热条件选择供电系统中各元件(包括设备和线路等)的负荷值。根据计算负荷选择的电气设备和导线电缆等, 如以计算负荷持续运行时, 其发热温度不会超过允许值。在供电设计中, 通常采用“半小时最大负荷”(参看本表序号 5) 作为计算负荷, 记作 P_{30}
5	半小时最大负荷 30minute maximum load	指全年中负荷最大的工作班内(这一工作班的最大负荷不是偶然出现的, 而是全年至少出现 2~3 次) 消耗电能最大的半小时平均功率, 亦称“年最大负荷”。由于导体通过电流达到稳定温升的时间大约为 (3~4) τ , τ 为发热时间常数, 而截面在 16mm^2 以上的导体, 其 τ 均在 10min 以上, 也就是载流导体大约经半小时(30min) 后可达到稳定的温升值, 因此通常取半小时最大负荷作为计算负荷, 记作 P_{30}
6	平均负荷 average load	指电力负荷在某段时间内平均消耗的功率, 也就是电力负荷在这段时间内消耗的电能除以这段时间的值。通常采用“年平均负荷”, 记作 P_{av}
7	尖峰负荷 peak load	指在给定时间(例如一天、一月、一年)内的负荷最大值, 记作 P_{μ}
8	尖峰电流 peak current	指持续时间只 1~2s 左右的短时最大负荷电流, 例如电动机的起动电流, 记作 I_{μ}
9	负荷中心 load centre	指配电区域中的一个点, 该区域内各个负荷的功率 P 与负荷至该点距离 l 的乘积的总和 ΣPl 为最小值
10	负荷密度 load density	指配电区域中单位面积的负荷功率, 亦即配电区域中总的负荷功率除以该区域面积之商。又称“单位面积安装容量(功率)”或“比功率”

(续)

序号	名词术语	含义说明
11	需要系数 demand factor	<p>指用电单位或用电设备组在最大负荷时需要的有功功率(即计算负荷 P_{30})与其设备容量 (P_e, 参看本表序号 15) 的比值, 即</p> $K_d = \frac{P_{30}}{P_e}$ <p>用电设备组的需要系数与下列因素有关:</p> <p>①设备组的同时系数 K, (参看本表序号 12)</p> <p>②设备组的负荷系数 K_f (参看本表序号 13)</p> <p>③设备组的平均效率 η, 即设备组在最大负荷时的输出功率与设备组的取用功率之比</p> <p>④配电线路的平均效率 η_{WL}, 即配电线路在最大负荷时的末端功率(即设备组的取用功率)与其首端功率(即设备组的计算负荷)之比</p> <p>用数学式表示为:</p> $K_d = \frac{K_f K_f}{\eta \eta_{WL}}$ <p>实际上, 需要系数还与操作工人的技术熟练程度和生产组织等也有一定的关系, 因此需要系数值只能是一个大致的范围。表 ZY2-8 为用电设备组的需要系数值。关于车间和工厂的需要系数值可参考《工厂供电简明设计手册》(刘介才主编, 机械工业出版社 1993 年版) 表 ZD2-8 和表 ZD2-9。</p>
12	同时系数 simultaneity factor	<p>①考虑用电设备组在最大负荷时不是所有设备都同时参加运行的一个系数, 用设备组在最大负荷时运行的设备容量与全部设备总容量(除备用设备外)之比来表示, 符号为 K,</p> <p>②考虑多组用电设备在最大负荷时不是所有设备组都为最大负荷运行状态的一个系数, 又称“参差系数”或“混合系数”, 符号为 K_x</p>
13	负荷系数, 负荷率 load factor	<p>①对负荷曲线, 指平均负荷与最大负荷的比值, 通常用年平均负荷与年最大负荷(即计算负荷)之比来表示</p> <p>②对用电设备组是考虑设备组在最大负荷时不是所有设备都满负荷的一个系数, 用设备组在最大负荷时的输出容量(功率)与设备组的总容量之比来表示, 符号为 K_f 或 β</p>
14	负荷(负载)持续率 duty cycle	<p>指断续周期工作制的用电设备如电焊机、吊车类设备在一个工作周期 T 内, 工作时间 t 与工作周期 T 的比值(通常用百分数表示), 即</p> $\epsilon = \frac{t}{T} \times 100\% = \frac{t}{t + t_0} \times 100\%$ <p>式中, t_0 为一个工作周期内的停歇时间。负荷持续率又称“暂载率”或“相对接用时间”</p>
15	设备容量 equipment capacity	<p>①指电气设备的额定容量(铭牌容量)</p> <p>②指用电设备组除备用设备外的所有设备额定容量 P_N 之和, 即</p> $P_e = \sum_{i=1}^n P_{N,i}$ <p>必须注意: 不同负荷持续率 ϵ 的设备容量(铭牌容量), 必须换算为同一负荷持续率下的容量才能相加运算。</p> <p>对电焊机, 设备容量要统一换算到 $\epsilon=100\%$ 的容量, 换算公式为</p> $P_e = P_N \sqrt{\epsilon_N} = S_N \cos\varphi \sqrt{\epsilon_N}$

(续)

序号	名词术语	含义说明
15	设备容量 equipment capacity	<p>式中, P_N 和 S_N 为电焊机的铭牌容量 (前者为有功容量, 后者为视在容量); ϵ_N 为与 P_N 或 S_N 对应的负荷持续率 (计算中采用小数形式); $\cos\phi$ 为与 P_N 或 S_N 对应的铭牌功率因数</p> <p>对吊车电动机, 设备容量要统一换算到 $\epsilon=25\%$ 的容量, 换算公式为</p> $P_e = P_N \sqrt{\frac{\epsilon_N}{\epsilon_{15}}} = 2P_N \sqrt{\epsilon_N}$ <p>式中, P_N 为吊车电动机的铭牌容量; ϵ_N 为与 P_N 对应的负荷持续率 (计算中采用小数形式); ϵ_{25} 为 25% 的负荷持续率 (计算中用 0.25)</p>
16	[用电设备] 利用系数 utilization factor	<p>指用电设备组在最大负荷工作班内平均消耗的功率 P_{av} 与其总设备容量 P_e 的比值, 即</p> $K_u = P_{av} / P_e$

(二) 电力负荷的分级及其对供电电源的要求

1. 电力负荷的分级及有关说明 GB50052—95《供配电系统设计规范》规定: 电力负荷应根据对供电可靠性的要求及中断供电在政治、经济上所造成的损失或影响的程度, 分为一级负荷、二级负荷及三级负荷, 如表 ZY2-2 所示。

表 ZY2-2 电力负荷的分级及有关说明 (据 GB50052—95)

序号	项 目	说 明
1	电力负荷的分级	
1.1	一级负荷	<p>①中断供电将造成人身伤亡者</p> <p>②中断供电将在政治、经济上造成重大损失者, 例如重大设备损坏、重大产品报废、用重要原料生产的产品大量报废、国民经济中重点企业的连续生产过程打乱需要长时间才能恢复等</p> <p>③中断供电将影响有重大政治、经济意义的用电单位的正常工作者, 例如重要交通枢纽、重要通信枢纽、重要宾馆、大型体育场馆、经常用于国际活动的大量人员集中的公共场所等用电单位中的重要电力负荷</p> <p>④在一级负荷中特别重要的负荷, 是指当中断供电将发生中毒、爆炸和火灾等情况的负荷, 以及特别重要场所的不允许中断供电的负荷</p>
1.2	二级负荷	<p>①中断供电将在政治、经济上造成较大损失者, 例如主要设备损坏、大量产品报废、连续生产过程被打乱需较长时间才能恢复、重点企业大量减产等</p> <p>②中断供电将影响重要用电单位的正常工作者, 例如交通枢纽、通信枢纽等用电单位中的重要电力负荷, 以及中断供电将造成大型影剧院、大型商场等较多人员集中的重要的公共场所秩序混乱者</p>
1.3	三级负荷	不属于一级和二级负荷者
2	电力负荷分级的意义及有关说明	
2.1	负荷分级的意义	电力负荷分级的意义, 在于正确地反映电力负荷对供电可靠性要求的界限, 以便恰当地选择符合我国实际水平的供电方式, 满足我国四个现代化建设的需要, 提高投资的效益

(续)

序号	项 目	说 明
2.2	条文中某些词语解释	①“重点企业”：指中央各部、委指定的大型骨干企业 ②“重要原料”：指比较稀缺的工农业原料 ③“长时间(或较长时间)才能恢复”：指停电时间虽然很短，但影响工作或生产的时间则较实际停电时间长很多 ④“中断供电”(停电)：停电分计划检修停电和事故停电两种。由于计划检修停电，事先通知用电部门，因此用电部门可采取措施避免损失或将损失减少至最低限度。条文中是按事故停电的损失来划分负荷等级的

2. 工业与民用建筑部分重要电力负荷的级别 分别如表 ZY2-3 和表 ZY2-4 所示。

表 ZY2-3 机械工厂常用重要电力负荷的级别 (据 JBJ6—96)

序号	建筑物名称	用电设备及部位名称	负荷级别
1	炼钢车间	容量为 100t 及以上的平炉加料起重机、浇铸起重机、倾动装置及冷却水系统的用电设备	一级
		容量为 100t 以下的平炉加料起重机、浇铸起重机、倾动装置及冷却水系统的用电设备	二级
		平炉鼓风机、平炉用其它用电设备、5t 以上电弧炼钢炉的电极升降机构、倾炉机构及浇铸起重机	二级
		总安装容量为 30MV·A 以上，停电会造成重大经济损失的多台大型电热装置 (包括电弧炉、感应炉等)	一级
2	铸铁车间	30t 及以上的浇铸起重机、部重点企业冲天炉鼓风机	二级
3	热处理车间	井式炉专用淬火起重机、井式炉油槽抽油泵	二级
4	锻压车间	铸造专用起重机、水压机、高压水泵、油压机	二级
5	金属加工车间	价格昂贵、作用重大、稀有的大型数控机床，停电会造成设备损坏。如自动跟踪数控仿型铣床、强力磨床等设备	一级
		价格贵、作用大、数量多的数控机床工部	二级
6	电镀车间	大型电镀工部的整流设备、自动流水作业生产线	二级
7	试验站	单机容量为 200MW 以上的大型电机试验、主机及辅机系统、动平衡试验的润滑油系统	一级
		单机容量为 200MW 及以下的大型电机试验、主机及辅机系统、动平衡试验的润滑油系统	二级
		采用高位油箱的动平衡试验润滑油系统	二级
8	层压制品车间	压机及供热锅炉	二级
9	线缆车间	熔炼炉的冷却水泵、鼓风机、铸钢机的冷却水泵、连轧机的水泵及润滑泵；压铅机、压铝机的熔化炉、高压水泵、水压机；交联聚乙烯加工设备的挤压交联冷却、收线用电设备、漆包机的传动机构、鼓风机、漆泵；干燥浸油缸的连续电加热、真空泵、液压泵	二级
10	磨具成型车间	隧道窑鼓风机、卷扬机构	二级
11	油漆树脂车间	2500L 及以上的反应釜及其供热锅炉	二级
12	焙烧车间	隧道窑鼓风机、排风机、窑车推进机、窑门关闭机构；油加热器、油泵及其供热锅炉	二级
13	热煤气站	煤气增压机、加压油泵及煤气发生炉鼓风机	一级
		有煤气缸的煤气增压机、有高位油箱的加压油泵	二级
		煤气发生炉加煤机及传动机构	二级

(续)

序号	建筑物名称	用电设备及部位名称	负荷级别
14	冷煤气站	鼓风机、排送机、冷却通风机、发生炉传动机构、高压整流器等	
15	锅炉房	中压及以上锅炉的给水泵	一级
		有汽动水泵时, 中压及以上锅炉的给水泵	二级
		单台容量为 20t/h 及以上锅炉的鼓风机、引风机、二次风机及炉排电机	二级
16	水泵房	供一级负荷用电设备的水泵	一级
		供二级负荷用电设备的水泵	二级
17	空压站	部重点企业单台容量为 60m ³ /min 及以上空压站的空气压缩机、独立励磁机	二级
		离心式压缩机润滑油泵	一级
		有高位油箱的离心式压缩机润滑油泵	二级
18	制氧站	部重点企业中的氧压机、空压机冷却水泵、润滑油泵(带高位油箱)	二级
19	计算中心	大中型计算机系统(自带 UPS 电源)	二级
20	理化计量楼	主要实验室、要求高精度恒温的计量室的恒温装置电源	二级
21	刚玉、碳化硅冶炼车间	冶炼炉及其配套的低压用电设备	二级
22	涂装车间	电泳涂装的循环搅拌、超滤系统的用电设备	二级

表 ZY2-4 民用建筑常用重要电力负荷的级别 (据 JGJ/T16—92)

序号	建筑物名称	电力负荷名称	负荷级别
1	高层普通住宅	客梯、生活水泵电力, 楼梯照明	二级
2	高层宿舍	客梯、生活水泵电力, 主要通道照明	二级
3	重要办公建筑	客梯电力, 主要办公室、会议室、总值班室、档案室及主要通道照明	一级
4	部、省级办公建筑	客梯电力, 主要办公室、会议室、总值班室、档案室及主要通道照明	二级
5	高等学校教学楼	客梯电力, 主要通道照明	二级 ^①
6	一、二级旅馆	经营管理用及设备管理用电子计算机系统电源	一级 ^④
		宴会厅电声、新闻摄影、录像电源, 宴会厅、餐厅、娱乐厅、高级客房、康乐设施、厨房及主要通道照明, 地下室污水泵、雨水泵电力, 厨房部分电力, 部分客梯电力	一级
		其余客梯电力, 一般客房照明	二级
7	科研院所重要实验室		一级 ^②
8	市(地区)级及以上气象台	主要业务用电子计算机系统电源	一级 ^④
		气象雷达、电报及传真收发设备、卫星云图接收机及语音广播电源, 天气绘图及预报照明	一级
		客梯电力	二级
9	高等学校重要实验室		一级 ^④
10	计算中心	主要业务用电子计算机系统电源	一级
		客梯电力	二级
11	大型博物馆、展览馆	防盗信号电源, 珍贵展品展室的照明	一级 ^④
		展览用电	二级
12	甲等剧场	调光用电子计算机系统电源	一级 ^④
		舞台、贵宾室、演员化妆室照明, 舞台机械电力, 电声、广播及电视转播、新闻摄影电源	一级
13	甲等电影院		二级

二、电力负荷及其计算 (ZY2)

535

(续)

序号	建筑物名称	电力负荷名称	负荷级别
14	重要图书馆	检索用电子计算机系统电源	一级 ^④
		其它用电	二级
15	省、自治区、直辖市及以上体育馆、体育场	计时记分用电子计算机系统电源	一级 ^④
		比赛厅(场)、主席台、贵宾室、接待室及广场照明,电声、广播及电视转播、新闻摄影电源	一级
16	县(区)级及以上医院	急诊部用房、监护病房、手术部、分娩室、婴儿室、血液病房的净化室、血液透析室、病理切片分析、CT扫描室、区域用中心血库、高压氧仓、加速器机房和治疗室及配血室的电力和照明,培养箱、冰箱、恒温箱的电源	一级
		电子显微镜电源,客梯电力	二级
17	银行	主要业务用电子计算机系统电源,防盗信号电源	一级 ^④
		客梯电力,营业厅、门厅照明	二级 ^⑤
18	大型百货商店	经营管理用电子计算机系统电源	一级 ^④
		营业厅、门厅照明	一级
		自动扶梯、客梯电力	二级
19	中型百货商店	营业厅、门厅照明、客梯电力	二级
20	广播电台	电子计算机系统电源	一级 ^④
		直接播出的语言播音室、控制室、微波设备及发射机房的电力和照明	一级
		主要客梯电力,楼梯照明	二级
21	电视台	电子计算机系统电源	一级 ^④
		直接播出的电视演播厅、中心机房、录像室、微波机房及发射机房的电力和照明	一级
		洗印室、电视电影室、主要客梯电力,楼梯照明	二级
22	火车站	特大型站和国境站的旅客站房、站台、天桥、地道的用电设备	一级
23	民用机场	航行管制、导航、通信、气象、助航灯光系统的设施和台站;边防、海关、安全检查设备;航班预报设备;三级以上油库;为飞行及旅客服务的办公用房;旅客活动场所的应急照明	一级 ^④
		候机楼、外航驻机场办事处、机场宾馆及旅客过夜用房、站坪照明、站坪机房用电	一级
		其它用电	二级
24	水运客运站	通信枢纽,导航设施、收发讯台	一级
		港口重要作业区,一等客运站用电	二级
25	汽车客运站	一、二级站	二级
26	市话局、电信枢纽、卫星地面站	载波机、微波机、长途电话交换机、市内电话交换机、文件传真机、会议电话、移动通信及卫星通信等通信设备的电源;载波机室、微波机室、交换机室、测量室、转接台室、传输室、电力室、电池室、文件传真机室、会议电话室、移动通信室、调度机室及卫星地面站的应急照明,营业厅照明,用户电传机	一级 ^④
		主要客梯电力,楼梯照明	二级

(续)

序号	建筑物名称	电力负荷名称	负荷级别
27	冷库	大型冷库、有特殊要求的冷库的一台氨压缩机及其附属设备的电力, 电梯电力, 库内照明	二级
28	监狱	警卫照明	一级

- ① 仅当建筑物为高层建筑时, 其客梯电力、楼梯照明为二级负荷。
- ② 此处系指高等学校、科研院所中一旦中断供电将造成人身伤亡或重大政治影响、经济损失的实验室, 例如生物制品实验室等。
- ③ 在面积大的银行营业厅中, 供暂时工作用的应急照明为一级负荷。
- ④ 该一级负荷为特别重要负荷。
- ⑤ 重要通信枢纽的一级负荷为特别重要负荷。

3. 电力负荷对供电电源的要求 GB50052—95 的规定, 如表 ZY2-5 所示。

表 ZY2-5 电力负荷对供电电源的要求 (据 GB50052—95)

序号	项 目	说 明
1	一级负荷的要求	一级负荷应由两个电源供电; 当一个电源发生故障时, 另一个电源不应同时受到损坏
2	一级负荷中特别重要负荷的要求	<p>一级负荷中特别重要的负荷, 除必须由上述两个电源供电外, 还必须增设应急电源, 并严禁将其它负荷接入应急供电系统</p> <p>常用的应急电源可使用下列几种电源:</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 独立于正常电源的发电机组 ② 供电网络中独立于正常电源的专用的馈电线路 ③ 蓄电池 ④ 干电池 <p>根据允许中断供电的时间可分别选择下列应急电源:</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 允许中断供电时间为 15s 以上的供电, 可选用快速自启动的发电机组 ② 自投装置的动作时间能满足允许中断供电的时间的, 可选用带有自动投入装置的独立于正常电源的专用馈电线路 ③ 允许中断供电时间为 ms 级的供电, 可选用蓄电池静止型不间断供电装置、蓄电池机械储能电机型不间断供电装置或柴油机不间断供电装置 <p>应急电源的工作时间, 应按生产技术上要求的停车时间考虑。当与自动启动的发电机组配合使用时, 不宜少于 10min</p>
3	二级负荷的要求	二级负荷的供电系统, 宜由两回线路供电。在负荷较小或地区供电条件困难时, 二级负荷可由一回 6kV 及以上专用的架空线路或电缆供电。当采用架空线时, 可为一回架空线供电; 当采用电缆线路时, 应采用两根电缆组成的线路供电, 其每根电缆应能承受 100% 的二级负荷
4	三级负荷的要求	对供电电源无特殊要求
5	宜设置自备电源的情况	<ul style="list-style-type: none"> ① 需要设置自备电源作为一级负荷中特别重要负荷的应急电源时, 或第二电源不能满足一级负荷要求的条件时 ② 设置自备电源较从电力系统取得第二电源经济合理时 ③ 有常年稳定余热、压差、废气可供发电, 技术可靠、经济合理时 ④ 所在地区偏僻, 远离电力系统, 设置自备电源经济合理时

(续)

序号	项 目	说 明
6	应急电源的运行要求	应急电源与正常电源之间必须采取可靠措施防止并列运行。这一要求的目的在于保证应急电源的专用性,防止正常电源系统故障时应急电源向正常电源系统负荷送电而失去作用。例如应急电源原动机的启动命令必须由正常电源主开关的辅助接点发出,而不是由继电器的接点发出,因为继电器有可能误动作而造成与正常电源误并网。具有应急电源蓄电池组的静止不间断电源装置,其正常电源是经整流环节变为直流才与蓄电池组并列运行的,在对蓄电池组进行浮充储能的同时经逆变环节提供交流电源;当正常电源系统故障时,利用蓄电池组直流储能放电而自动经逆变环节不间断地提供交流电源,但由于整流环节的存在因而蓄电池组不会向正常电源进线侧反馈,也就保证了应急电源的专用性

(三) 计算负荷的计算

1. 确定计算负荷的方法及有关说明 如表 ZY2-6 所示。

表 ZY2-6 确定计算负荷的方法及有关说明

序号	类 别	说 明
1	需要系数法	利用一个需要系数乘以设备容量即可求得设备组的有功计算负荷,计算十分简便,它是最早提出的也是至今最为通用的一种确定计算负荷的方法,但由于需要系数是根据设备台数较多、容量差别不大的一般情况来确定的,未考虑设备容量相差悬殊时少数大容量设备对计算负荷的影响,因此此法较适用于设备台数较多的车间及全厂的计算负荷的确定。该法的应用详见表 ZY2-7
2	二项式(系数)法	这是前苏联德·斯·利夫希茨(Д. С. Львович)工程师于 1937 年首先提出来的,其确定用电设备组有功计算负荷的公式为二项式(参看文献 [8])。它考虑了设备组中容量最大的几台设备对整个设备组计算负荷的影响,弥补了需要系数法的不足。此法计算也相当简便,至今仍为我国不少设计单位和广大供电设计人员采用。我国新颁行业标准 JGJ/T16—92《民用建筑电气设计规范》也规定:“用电设备台数较少、各台设备容量相差悬殊时,宜采用二项式法,一般用于支干线和配电屏(箱)的负荷计算。”该法的应用详见表 ZY2-9
3	利用系数法	这是前苏联 50 年代后期提出来的。它先根据利用系数求出各用电设备组在最大负荷班的平均负荷,然后求总的平均利用系数和用电设备的有效台数,并由此查出对应的最大系数,最后由各平均负荷之和乘以最大系数即可求出总的有功计算负荷。利用系数法对于用电设备无论台数多少和容量差别大小,计算结果均较准确,因此可取代需要系数法和二项式法。但由于它计算繁复,因此过去在供电设计中应用不甚广泛。不过随着计算机应用的普及,繁复的计算也可变得相当简便,故利用系数法可望进一步推广应用。该法的应用详见表 ZY2-11
4	“ABC”法	这是我国供电设计人员于 70 年代末期提出来的,实际是利用系数法的一种简化运算,但仍嫌繁琐,因此一直未能推广应用。该法详细介绍参看文献 [3]
5	单位产品耗电量法	利用单位产品耗电量乘以工厂年产量,求出工厂的年耗电量。然后将工厂的年耗电量除以工厂的年最大有功负荷利用小时,即可求得工厂的有功计算负荷。此法用于估算工厂的计算负荷,通常在初步设计阶段使用。该法详细介绍参看文献 [2] 中表 ZD2-12、13
6	负荷密度法	利用负荷密度(单位面积安装功率)乘以计算区域面积,即得计算负荷。此法多用于估算照明负荷和生活用电。此法又称“单位面积耗电量法”。该法的应用详见表 ZY2-14
7	单位指标法	利用单位用电指标(如每人瓦数、每户瓦数或每床位瓦数)乘以单位(人、户或床位)总数,即得计算负荷。此法用于计算生活用电和旅店等单位用电。该法的应用详见表 ZY2-14

2. 按需要系数法确定计算负荷 如表 ZY2-7 所示。用电设备组的需要系数值参看表 ZY2-8。

表 ZY2-7 按需要系数法确定计算负荷

序号	项 目	说 明
1	确定用电设备组或用电单位计算负荷的公式	
1.1	有功计算负荷 kW	$P_{30} = K_d P_e$ 式中, K_d 为用电设备组或用电单位的需要系数; P_e 为用电设备组或用电单位除备用设备外的总设备容量 (kW), 其计算参看表 ZY2-1 序号 15
1.2	无功计算负荷 kvar	$Q_{30} = P_{30} \tan \varphi$ 式中, $\tan \varphi$ 为用电设备组或用电单位功率因数 ($\cos \varphi$) 角的正切值
1.3	视在计算负荷 kV·A	$S_{30} = \frac{P_{30}}{\cos \varphi}$
1.4	计算电流 A	$I_{30} = \frac{S_{30}}{\sqrt{3} U_N}$ 式中, U_N 为用电设备组或用电单位供电电压额定值 (kV)
2	确定多组用电设备或多个用电单位总计算负荷的公式	
2.1	有功计算负荷 kW	$P_{30} = K_{\Sigma p} \sum_{i=1}^n P_{30,i}$ 式中, $P_{30,i}$ 为各组 (个) 的有功计算负荷 (kW); $K_{\Sigma p}$ 为有功负荷同时系数, 由设备组计算车间配电干线负荷时可取 $K_{\Sigma p} = 0.85 \sim 0.95$, 由设备组直接计算变电所低压母线总负荷时可取 $K_{\Sigma p} = 0.8 \sim 0.9$
2.2	无功计算负荷 kvar	$Q_{30} = K_{\Sigma q} \sum_{i=1}^n Q_{30,i}$ 式中, $Q_{30,i}$ 为各组 (个) 的无功计算负荷 (kvar); $K_{\Sigma q}$ 为无功负荷同时系数, 由设备组计算车间配电干线负荷时可取 $K_{\Sigma q} = 0.9 \sim 0.97$; 由设备组直接计算变电所低压母线总负荷时可取 $K_{\Sigma q} = 0.85 \sim 0.95$
2.3	视在计算负荷 kV·A	$S_{30} = \sqrt{P_{30}^2 + Q_{30}^2}$
2.4	计算电流/A	$I_{30} = \frac{S_{30}}{\sqrt{3} U_N}$ 式中, U_N 为用电设备组或用电单位供电电压额定值 (kV)

表 ZY2-8 用电设备组的需要系数和功率因数

序号	用电设备组名称	需要系数 K_d	$\cos \varphi$	$\tan \varphi$
1	小批生产的金属冷加工机床	0.16~0.20	0.50	1.73
2	大批生产的金属冷加工机床	0.18~0.25	0.50	1.73
3	小批生产的金属热加工机床	0.25~0.30	0.50	1.33
4	大批生产的金属热加工机床	0.30~0.35	0.65	1.17
5	通风机、水泵、空气压缩机及电动发电机组	0.70~0.80	0.80	0.75
6	非连锁的连续运输机械及铸造车间整砂机械	0.50~0.60	0.75	0.88
7	连锁的连续运输机械及铸造车间整砂机械	0.65~0.70	0.75	0.88
8	锅炉房和机加工、机修、装配等类车间的吊车 ($\epsilon = 25\%$)	0.10~0.15	0.50	1.73

二、电力负荷及其计算 (ZY2)

(续)

序号	用电设备组名称	需要系数 K_d	$\cos\varphi$	$\tan\varphi$
9	铸造车间的吊车 ($\epsilon=25\%$)	0.15~0.25	0.50	1.73
10	自动连续装料的电阻炉设备	0.75~0.80	0.95	0.33
11	实验室用的小型电热设备 (电阻炉、干燥箱等)	0.70	1.00	0
12	工频感应电炉 (未带无功补偿装置)	0.80	0.35	2.68
13	高频感应电炉 (未带无功补偿装置)	0.80	0.60	1.33
14	电弧熔炉	0.90	0.87	0.57
15	点焊机、缝焊机	0.35	0.60	1.33
16	对焊机、铆钉加热机	0.35	0.70	1.02
17	自动弧焊变压器	0.50	0.40	2.29
18	单头手动弧焊变压器	0.35	0.35	2.68
19	多头手动弧焊变压器	0.40	0.35	2.68
20	单头弧焊电动发电机组	0.35	0.60	1.33
21	多头弧焊电动发电机组	0.70	0.75	0.88
22	生产厂房照明 (有天然采光)	0.80~0.90	1.00	0
23	生产厂房照明 (无天然采光)	0.90~1.00	1.00	0
24	办公楼照明	0.70~0.80	1.00	0
25	设计室照明	0.90~0.95	1.00	0
26	科研楼照明	0.80~0.90	1.00	0
27	仓库照明	0.50~0.70	1.00	0
28	锅炉房照明	0.90	1.00	0
29	宿舍区照明	0.60~0.80	1.00	0
30	医院照明	0.50	1.00	0
31	食堂照明	0.90~0.95	1.00	0
32	商店照明	0.90	1.00	0
33	学校照明	0.60~0.70	1.00	0
34	展览馆照明	0.70~0.80	1.00	0
35	旅馆照明	0.60~0.70	1.00	0
36	旅馆客房照明	0.35~0.45	1.00	0
37	旅馆其它场所照明	0.50~0.70	1.00	0
38	旅馆用冷水机组、泵	0.65~0.75	0.80	0.75
39	旅馆用通风机	0.60~0.70	0.80	0.75
40	旅馆用电梯	0.18~0.22	0.50	1.73
41	旅馆用洗衣机	0.30~0.35	0.70	1.02
42	旅馆用厨房设备	0.35~0.45	0.75	0.88
43	旅馆用窗式空调器	0.35~0.45	0.80	0.75

- 注: 1. 当设备组总台数 $n=1\sim 2$ 时, 取 $K_d=1$; $n=3\sim 4$ 时, 取 $K_d\approx 0.9$, 而单台电动机为 $P_{30}=P_N/\eta$, 式中 P_N 为电动机额定容量, η 为电动机额定效率。
 2. 表中所有照明负荷的 $\cos\varphi$ 和 $\tan\varphi$ 值均按白炽灯照明的数值 ($\cos\varphi=1, \tan\varphi=0$), 如为其它光源照明, 则其 $\cos\varphi$ 和 $\tan\varphi$ 按以下附表数值。

附表 照明设备的 $\cos\varphi$ 和 $\tan\varphi$

光源类别	$\cos\varphi$	$\tan\varphi$
白炽灯、卤钨灯	1.00	0
荧光灯 (无补偿)	0.55	1.52
荧光灯 (有补偿)	0.90	0.48
高压汞灯	0.45~0.65	1.98~1.16
高压钠灯	0.45	1.98
金属卤化物灯	0.40~0.61	2.29~1.29
镝灯	0.52	1.60
氙灯	0.90	0.48

3. 按二项式法确定计算负荷 如表 ZY2-9 所示。用电设备组的二项式系数值参看表 ZY2-10。

表 ZY2-9 按二项式法确定计算负荷

序号	项 目	说 明
1	确定用电设备组计算负荷的公式	
1.1	有功计算负荷 kW	$P_{30} = bP_e + cP_x$ 式中, P_e 为用电设备组的设备容量 (kW); P_x 为用电设备组中容量最大的 x 台设备容量 (kW), x 值参看表 ZY2-10; b 和 c 为二项式系数值, 参看表 ZY2-10
1.2	无功计算负荷 kvar	$Q_{30} = P_{30} \tan\varphi$ 式中, $\tan\varphi$ 为用电设备组功率因数 ($\cos\varphi$) 角的正切值, 参看表 ZY2-10
1.3	视在计算负荷 kV·A	$S_{30} = \frac{P_{30}}{\cos\varphi}$
1.4	计算电流 A	$I_{30} = \frac{S_{30}}{\sqrt{3} U_N}$ 式中 U_N 为用电设备组额定电压 (kV)
2	确定多组用电设备总计算负荷的公式	
2.1	有功计算负荷 kW	$P_{30} = \sum_{i=1}^n (bP_e)_i + (cP_x)_{\max}$ 式中 $(cP_x)_{\max}$ 为各组 cP_x 中最大的一组
2.2	无功计算负荷 kvar	$Q_{30} = \sum_{i=1}^n (bP_e \tan\varphi)_i + (cP_x)_{\max} \tan\varphi_{\max}$ 式中, $\tan\varphi_{\max}$ 为 $(cP_x)_{\max}$ 组的 $\tan\varphi$
2.3	视在计算负荷 kV·A	$S_{30} = \sqrt{P_{30}^2 + Q_{30}^2}$
2.4	计算电流 A	$I_{30} = \frac{S_{30}}{\sqrt{3} U_N}$ 式中, U_N 为用电设备组的额定电压 (kV)

表 ZY2-10 用电设备组的二项式系数和功率因数

序号	用电设备组名称	二项式系数		最大容量设备台数 $x^{\text{①}}$	$\cos\varphi$	$\tan\varphi$
		b	c			
1	小批生产的金属冷加工机床	0.14	0.40	5	0.50	1.73
2	大批生产的金属冷加工机床	0.14	0.50	5	0.50	1.73
3	小批生产的金属热加工机床	0.24	0.40	5	0.60	1.33
4	大批生产的金属热加工机床	0.26	0.50	5	0.65	1.17
5	通风机、水泵、空气压缩机及其电动发电机组	0.65	0.25	5	0.80	0.75
6	非连锁的连续运输机械及铸造车间整砂机械	0.40	0.40	5	0.75	0.88
7	连锁的连续运输机械及铸造车间整砂机械	0.50	0.20	5	0.75	0.88
8	锅炉房和机加、机修、装配等车间的吊车 ($\epsilon=25\%$)	0.06	0.20	3	0.50	1.73
9	铸造车间的吊车 ($\epsilon=25\%$)	0.09	0.30	3	0.50	1.73
10	自动连续装料的电阻炉设备	0.70	0.30	2	0.95	0.33
11	实验室用小型电热设备	0.70	0	—	1.00	0

① 当设备台数 $n < 2x$ 时, 可取 $x = n/2$ (按“四舍五入”修约规则取整数), 当 $n = 1 \sim 2$ 时, $P_{30} = P_N$, 而单台电动机, $P_{30} = P_N/\eta$, 式中 P_N 为电动机额定容量, η 为电动机额定效率。

4. 按利用系数法确定计算负荷 如表 ZY2-11 所示。用电设备组的利用系数值参看表 ZY2-12; 最大系数值参看表 ZY2-13。

表 ZY2-11 按利用系数法确定计算负荷

序号	项 目	计 算 公 式
1	求用电设备组在最大负荷班的平均负荷	<p>①有功平均负荷 (kW):</p> $P_{av} = K_u P_e$ <p>式中, K_u 为用电设备组利用系数 (可查表 ZY2-12); P_e 为用电设备组设备容量 (kW), 设备容量均统一换算到 $\epsilon = 100\%$ (P_e 按表 ZY2-1 序号 15 所述方法计算)</p> <p>②无功平均负荷 (kvar):</p> $Q_{av} = P_{av} \tan\varphi$ <p>式中, $\tan\varphi$ 为用电设备组功率因数角的正切值</p>
2	求多组用电设备的平均利用系数	$K_{u,av} = \frac{\sum P_{av}}{\sum P_e}$ <p>式中, $\sum P_{av}$ 为各组 P_{av} 之和; $\sum P_e$ 为各组 P_e 之和</p>
3	求用电设备的有效台数	$n_{ef} = \frac{(\sum P_N)^2}{\sum P_N^2}$ <p>式中, P_N 为各个用电设备的额定容量 (kW), 均统一换算到 $\epsilon = 100\%$</p>
4	求最大系数	根据 $K_{u,av}$ 和 n_{ef} 从表 ZY2-13 查得最大系数 K_m

300

供电工程师手册

(续)

序号	项 目	计 算 公 式
5	求计算负荷	①有功计算负荷 (kW): $P_{30} = K_M \Sigma P_{30}$
		②无功计算负荷 (kvar): $Q_{30} = K_M \Sigma Q_{30}$
		③视在计算负荷 (kV·A): $S_{30} = \sqrt{P_{30}^2 + Q_{30}^2}$
		④计算电流 (A): $I_{30} = \frac{S_{30}}{\sqrt{3} U_N}$
式中, U_N 为用电设备额定电压 (kV)		

表 ZY2-12 用电设备组的利用系数和功率因数

序号	用 电 设 备 组 名 称	利用系数 K_M	$\cos\varphi$	$\tan\varphi$
1	一般工作制小批生产用金属切削机床 (小型车、刨、插、铣、钻床和砂轮机)	0.10~0.12	0.50	1.73
2	一般工作制大批生产用金属切削机床	0.12~0.14	0.50	1.73
3	重工作制金属切削机床 (冲床、自动车床、六角车床、粗磨、铣齿、大型车床、刨、铣、立车、镗床)	0.16	0.55	1.51
4	小批生产金属热加工机床 (锻锤传动装置、锻造机、拉丝机、清理转磨筒、碾磨机等)	0.17	0.60	1.33
5	大批生产金属热加工机床	0.20	0.65	1.17
6	生产用通风机	0.55	0.80	0.75
7	卫生用通风机	0.50	0.80	0.75
8	泵、空气压缩机、电动发电机组	0.55	0.80	0.75
9	移动式电动工具	0.05	0.50	1.73
10	非连锁的连续运输机械 (提升机、皮带运输机、螺旋运输机等)	0.35	0.75	0.88
11	连锁的连续运输机械	0.50	0.75	0.88
12	起重机及电动葫芦 ($\epsilon=100\%$)	0.15~0.20	0.50	1.73
13	电阻炉、干燥箱、加热设备	0.55~0.65	0.95	0.33
14	实验室用小型电热设备	0.35	1.00	0
15	电弧炼钢炉 10t 以下	0.65	0.80	0.75
16	单头直流弧焊机	0.25	0.60	1.33
17	多头直流弧焊机	0.50	0.70	1.02
18	单头弧焊变压器	0.25	0.35	2.67
19	多头弧焊变压器	0.30	0.35	2.67
20	自动弧焊机	0.30	0.50	1.73
21	点焊机及缝焊机	0.25	0.60	1.33

(续)

序号	用电设备组名称	利用系数 K_u	$\cos\varphi$	$\tan\varphi$
22	对焊机及铆钉加热器	0.25	0.70	1.02
23	工频感应电炉	0.75	0.35	2.67
24	高频感应电炉 (用电动发电机组)	0.70	0.80	0.75
25	高频感应电炉 (用真空管振荡器)	0.65	0.65	1.17

表 ZY2-13 最大系数 K_u 值

有效台数 n_{ef}	平均利用系数 $K_{u,av}$									
	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
4	3.43	3.11	2.64	2.14	1.87	1.65	1.46	1.29	1.14	1.05
5	3.23	2.87	2.42	2.00	1.76	1.57	1.41	1.26	1.12	1.04
6	3.04	2.64	2.24	1.88	1.66	1.51	1.37	1.23	1.10	1.04
7	2.88	2.48	2.10	1.80	1.58	1.45	1.33	1.21	1.09	1.04
8	2.72	2.31	1.99	1.72	1.52	1.40	1.30	1.20	1.08	1.04
9	2.56	2.20	1.90	1.65	1.47	1.37	1.28	1.18	1.08	1.03
10	2.42	2.10	1.84	1.60	1.43	1.34	1.26	1.16	1.07	1.03
12	2.24	1.96	1.75	1.52	1.36	1.28	1.23	1.15	1.07	1.03
14	2.10	1.85	1.67	1.45	1.32	1.25	1.20	1.13	1.07	1.03
16	1.99	1.77	1.61	1.41	1.28	1.23	1.18	1.12	1.07	1.03
18	1.91	1.70	1.55	1.37	1.26	1.21	1.16	1.11	1.06	1.03
20	1.84	1.65	1.50	1.34	1.24	1.20	1.15	1.11	1.06	1.03
25	1.71	1.55	1.40	1.28	1.21	1.17	1.14	1.10	1.06	1.03
30	1.62	1.46	1.34	1.24	1.19	1.16	1.13	1.10	1.05	1.03
35	1.56	1.41	1.30	1.21	1.17	1.15	1.12	1.09	1.05	1.02
40	1.50	1.37	1.27	1.19	1.15	1.13	1.12	1.09	1.05	1.02
45	1.45	1.33	1.25	1.17	1.14	1.12	1.11	1.08	1.04	1.02
50	1.40	1.30	1.23	1.16	1.14	1.11	1.10	1.08	1.04	1.02
60	1.32	1.25	1.19	1.14	1.12	1.11	1.09	1.07	1.03	1.02
70	1.27	1.22	1.17	1.12	1.10	1.10	1.09	1.06	1.03	1.02
80	1.25	1.20	1.15	1.11	1.10	1.10	1.08	1.06	1.03	1.02
90	1.23	1.18	1.13	1.10	1.09	1.09	1.08	1.05	1.02	1.02
100	1.21	1.17	1.12	1.10	1.08	1.08	1.07	1.05	1.02	1.02
120	1.19	1.16	1.12	1.09	1.07	1.07	1.07	1.05	1.02	1.02
160	1.16	1.13	1.10	1.08	1.06	1.05	1.05	1.04	1.02	1.02
200	1.15	1.12	1.09	1.07	1.05	1.05	1.05	1.04	1.01	1.01
240	1.14	1.11	1.08	1.07	1.05	1.05	1.05	1.03	1.01	1.01

5. 按负荷密度法和单位指标法确定计算负荷 如表 ZY2-14 所示。部分用电单位的负荷密度和单位指标参考值分别参看表 ZY2-15 和表 ZY2-16。

表 ZY2-14 按负荷密度法和单位指标法确定计算负荷

序号	项目	计 算 公 式
1	按负荷密度法确定计算负荷	
1.1	有功计算负荷 /kW	$P_{30} = aA \times 10^{-3}$ 式中, a 为负荷密度 (W/m^2); A 为建筑面积 (m^2)。如 a 单位为 $V \cdot A/m^2$, 则乘以 A 得 S_{30}
1.2	无功计算负荷 /kvar	$Q_{30} = P_{30} \tan \varphi$ 式中, $\tan \varphi$ 为负荷功率因数角的正切值 对照明负荷: $Q_{30} = 0$
1.3	视在计算负荷 /kV · A	$S_{30} = \frac{P_{30}}{\cos \varphi}$ 对照明负荷: $S_{30} = P_{30}$
1.4	计算电流 /A	$I_{30} = \frac{S_{30}}{\sqrt{3} U_N}$ 式中, U_N 为负荷供电系统的额定电压 (kV) 对照明负荷: $I_{30} = \frac{P_{30}}{\sqrt{3} U_N}$
2	按单位指标法确定计算负荷	
2.1	有功计算负荷 /kW	$P_{30} = wN \times 10^{-3}$ 式中, w 为单位指标值 ($W/人, W/户, 或 W/床$); N 为人数、户数或床位数。如 w 单位为 $V \cdot A/\square$, 则乘以 N 得 S_{30} (以上 w 单位中符号 \square 为 N 的单位, 如人、户、床位等)
2.2	无功计算负荷 /kvar	$Q_{30} = P_{30} \tan \varphi$ 式中, $\tan \varphi$ 为负荷功率因数角的正切值
2.3	视在计算负荷 /kV · A	$S_{30} = \frac{P_{30}}{\cos \varphi}$
2.4	计算电流 /A	$I_{30} = \frac{S_{30}}{\sqrt{3} U_N}$ 式中, U_N 为负荷供电系统的额定电压 (kV)

表 ZY2-15 部分用电单位负荷密度参考值

序号	用电单位名称	负荷密度	序号	用电单位名称	负荷密度
1	机械加工车间(照明)	7~10	11	工厂中央试验室(照明)	9~12
2	机修电修车间(照明)	7.5~9	12	计量室(照明)	10~13
3	木工车间(照明)	10~12	13	冷冻站、氧气站、煤气站(照明)	8~10
4	铸工车间(照明)	8~10	14	空气压缩站、水泵房(照明)	6~9
5	锻压车间(照明)	7~9	15	锅炉房(照明)	7~9
6	热处理车间(照明)	10~13	16	材料库(照明)	4~7
7	表面处理车间(照明)	9~11	17	变、配电所(照明)	8~12
8	焊接车间(照明)	7~10	18	办公室、资料室(照明)	10~15
9	装配车间(照明)	8~11	19	设计室、绘图室(照明)	12~18
10	元件、仪表、装配试验厂房(照明)	10~13	20	食堂、餐厅(照明)	10~13

(续)

序号	用电单位名称	负荷密度	序号	用电单位名称	负荷密度
21	医院、托儿所、幼儿园(照明)	9~12	31	无空调的商店	(43)
22	学校(照明)	12~15	32	有空调的商店	(194)
23	俱乐部(照明)	10~13	33	餐厅、咖啡馆	(247)
24	商店(照明)	12~15	34	百货商场	14.5~215 (161.4)
25	浴室、更衣室、厕所(照明)	6~8			
26	一般住宅或小家庭公寓	5.91~10.70 (7.53)	35	办公室	80.7~107.6 (96.8)
27	中等家庭公寓	10.76~16.14 (13.45)	36	旅馆	48.4~124 (71)
28	高级家庭公寓	21.52~26.5 (25.8)	37	居民住宅楼(北京地区)	25
29	豪华家庭公寓	43.04~64.5 (48.4)	38	上海市上海大厦	88.4
30	商店	48.4~277 (161.4)	39	广州市白云宾馆	53.2
			40	北京市长城饭店	61.2

注:1. 序号1~25引自文献[2],全为照明负荷密度,单位为“W/m²”。

2. 序号26~36引自文献[5],负荷密度单位为“V·A/m²”,括号内数字为平均值。

3. 序号37引自文献[7],系首都规划建设委员会办公室1990年10月关于北京市住宅用电负荷标准问题的批复数据:(室型住宅40m²,用电1.0kW;2室型住宅56m²,用电1.4kW;3室型住宅70~73m²,用电1.7kW;4室型住宅90~93m²,用电2.5kW。

4. 序号38~40引自文献[6],负荷密度单位为“V·A/m²”。

表 ZY2-16 部分用户单位指标参考值

序号	用电单位名称	单位指标	序号	用电单位名称	单位指标
1	普通住宅(北京)	370~433W/户	6	北京市西苑饭店	12.3kV·A/套房
2	普通高层住宅(北京)	480~526W/户	7	广州市白云宾馆	3.9kV·A/房间
3	中级住宅(北京)	3500W/户	8	西安市西安宾馆	4kV·A/床
4	高级住宅(北京,无电灶)	4500W/户	9	深圳市上海宾馆	4.3kV·A/床
5	高级住宅(北京,有电灶)	5800W/户	10	旅馆(推荐值)	2~2.4kW/床

注:1. 序号1~9引自文献[6],其中:序号1,当住户面积为56m²时,负荷密度为6.6~7.7W/m²;序号2,当住户面积为56m²时,负荷密度为8.5~9.4W/m²;序号3,按每户一台空调器、一台热水器考虑;序号4,按每户两台空调器、两台热水器、一台烘干洗衣机考虑,无电灶;序号5,与序号4的考虑相同,只是有电灶;序号6~9,为几家饭店宾馆的单位指标值,供参考。

2. 序号10引自文献[7],系设计推荐值,相应的负荷密度考虑为65~80W/m²。

6. 单相负荷的计算 如表ZY2-17所示。单相负荷的计算,指单相负荷接于三相系统中换算为等效三相计算负荷的计算。

表 ZY2-17 单相负荷的计算

序号	项 目	说 明
1	单相负荷容量小于三相负荷总容量15%时的等效三相负荷计算	将所有单相负荷与三相负荷直接相加,即得等效三相负荷

(续)

序号	项 目	说 明																																																													
2	单相负荷均接于相电压上的等效三相负荷计算	①分别计算各相单相计算负荷 $P_{30,\varphi}$ ②找出其中最大负荷相 ($m\varphi$) 的计算负荷 $P_{30,m\varphi}$ ③求等效三相计算负荷: $P_{30,eq} = 3P_{30,m\varphi}$																																																													
3	单相负荷均接于线电压上的等效三相负荷计算	①分别计算各线电压的单相计算负荷 $P_{30,l}$ ②找出其中最大的线电压 (ml) 单相计算负荷 $P_{30,ml}$ ③求等效三相计算负荷: $P_{30,eq} = 3P_{30,ml}$ ④如果只有一线电压上接有单相负荷, 则等效三相计算负荷为 $P_{30,eq} = \sqrt{3} P_{30,l}$																																																													
4	单相负荷分别接于相电压和线电压上的等效三相负荷计算	①将接于线电压的单相负荷换算为相电压负荷, 换算公式为 A 相: $P_A = p_{AB-A}P_{AB} + p_{CA-A}P_{CA}$ $Q_A = q_{AB-A}P_{AB} + q_{CA-A}P_{CA}$ B 相: $P_B = p_{BC-B}P_{BC} + p_{AB-B}P_{AB}$ $Q_B = q_{BC-B}P_{BC} + q_{AB-B}P_{AB}$ C 相: $P_C = p_{CA-C}P_{CA} + p_{BC-C}P_{BC}$ $Q_C = q_{CA-C}P_{CA} + q_{BC-C}P_{BC}$ 式中, P_{AB}, P_{BC}, P_{CA} 分别为接于 AB, BC, CA 相间的有功负荷, p_{AB-A}, q_{AB-A} 分别为将接于 AB 相间负荷换算为 A 相的有功负荷和无功负荷的有功和无功换算系数, 余类推, 其值如以下附表所示 ②分别计算各相计算负荷 $P_{30,\varphi}$ ③找出其中最大负荷相 ($m\varphi$) 的计算负荷 $P_{30,m\varphi}$ ④求等效三相计算负荷 $P_{30,eq} = 3P_{30,m\varphi}$																																																													
5	附表	功率换算系数																																																													
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">功率换算系数</th> <th colspan="8">负荷功率因数</th> </tr> <tr> <th></th> <th>0.35</th> <th>0.40</th> <th>0.50</th> <th>0.60</th> <th>0.65</th> <th>0.70</th> <th>0.80</th> <th>0.90</th> <th>1.00</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$p_{AB-A}, p_{BC-B}, p_{CA-C}$</td> <td>1.27</td> <td>1.17</td> <td>1.00</td> <td>0.89</td> <td>0.84</td> <td>0.80</td> <td>0.72</td> <td>0.64</td> <td>0.50</td> </tr> <tr> <td>$p_{AB-B}, p_{BC-C}, p_{CA-A}$</td> <td>-0.27</td> <td>-0.17</td> <td>0</td> <td>0.11</td> <td>0.16</td> <td>0.20</td> <td>0.28</td> <td>0.36</td> <td>0.50</td> </tr> <tr> <td>$q_{AB-A}, q_{BC-B}, q_{CA-C}$</td> <td>1.05</td> <td>0.86</td> <td>0.58</td> <td>0.38</td> <td>0.30</td> <td>0.22</td> <td>0.09</td> <td>-0.05</td> <td>-0.29</td> </tr> <tr> <td>$q_{AB-B}, q_{BC-C}, q_{CA-A}$</td> <td>1.63</td> <td>1.44</td> <td>1.16</td> <td>0.96</td> <td>0.88</td> <td>0.80</td> <td>0.67</td> <td>0.53</td> <td>0.29</td> </tr> </tbody> </table>	功率换算系数			负荷功率因数									0.35	0.40	0.50	0.60	0.65	0.70	0.80	0.90	1.00	$p_{AB-A}, p_{BC-B}, p_{CA-C}$	1.27	1.17	1.00	0.89	0.84	0.80	0.72	0.64	0.50	$p_{AB-B}, p_{BC-C}, p_{CA-A}$	-0.27	-0.17	0	0.11	0.16	0.20	0.28	0.36	0.50	$q_{AB-A}, q_{BC-B}, q_{CA-C}$	1.05	0.86	0.58	0.38	0.30	0.22	0.09	-0.05	-0.29	$q_{AB-B}, q_{BC-C}, q_{CA-A}$	1.63	1.44	1.16	0.96	0.88	0.80	0.67	0.53	0.29
		功率换算系数			负荷功率因数																																																										
			0.35	0.40	0.50	0.60	0.65	0.70	0.80	0.90	1.00																																																				
		$p_{AB-A}, p_{BC-B}, p_{CA-C}$	1.27	1.17	1.00	0.89	0.84	0.80	0.72	0.64	0.50																																																				
$p_{AB-B}, p_{BC-C}, p_{CA-A}$	-0.27	-0.17	0	0.11	0.16	0.20	0.28	0.36	0.50																																																						
$q_{AB-A}, q_{BC-B}, q_{CA-C}$	1.05	0.86	0.58	0.38	0.30	0.22	0.09	-0.05	-0.29																																																						
$q_{AB-B}, q_{BC-C}, q_{CA-A}$	1.63	1.44	1.16	0.96	0.88	0.80	0.67	0.53	0.29																																																						

7. 线路和变压器功率损耗的计算 如表 ZY2-18 所示。

表 ZY2-18 线路和变压器功率损耗的计算

序号	项 目	计 算 公 式
1	线路功率损耗的计算	
1.1	线路有功功率损耗 /kW	$\Delta P_{WL} = 3I_{30}^2 R_{WL} \times 10^{-3}$ 式中, I_{30} 为线路的计算电流 (A); R_{WL} 为线路每相的电阻 (Ω) 电阻 $R_{WL} = R_0 l$ 。式中 R_0 为线路单位长度每相电阻值 (Ω/km), 可查有关手册 (表 ZY6-30); l 为线路长度 (km)

(续)

序号	项目		计算公式
1.2	线路无功功率损耗 /kvar		$\Delta Q_{WL} = 3I_{30}X_{WL} \times 10^{-3}$ <p>式中, I_{30}为线路的计算电流(A); X_{WL}为线路每相的电抗(Ω) 电抗 $X_{WL} = X_0 l$。式中 X_0为线路单位长度每相电抗值(Ω/km), 其计算公式参看表 JC6-4 序号 5; 但在工程设计中通常利用导线截面和线间几何均距查有关手册(表 ZY6-30), 线间几何均距的含义和计算参看表 ZY6-1 序号 9</p>
2	变压器功率损耗的计算		
2.1	变压器的有功功率损耗 /kW	基本计算公式	$\textcircled{1} \quad \Delta P_T = \Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu} \left(\frac{S_{30}}{S_N} \right)^2$ <p>式中, ΔP_{Fe}为变压器的铁心损耗(铁损); ΔP_{Cu}为变压器的绕组损耗(铜损); S_N为变压器的额定容量; S_{30}为变压器的计算负荷。可令 $S_{30}/S_N = \beta$, β称为“变压器负荷率”(下同)</p> $\textcircled{2} \quad \Delta P_T \approx \Delta P_0 + \Delta P_k \left(\frac{S_{30}}{S_N} \right)^2$ <p>式中, ΔP_0为变压器的空载损耗, 近似地等于变压器的铁损; ΔP_k为变压器的短路损耗(负载损耗), 近似地等于变压器的铜损。 ΔP_0和 ΔP_k可查产品样本(参看表 ZY4-4~6)</p>
		近似公式	$\Delta P_T \approx 0.015S_{30} \text{ [参看备注]}$ <p>式中, S_{30}为变压器的视在计算负荷</p>
2.2	变压器的无功功率损耗 /kvar	基本计算公式	$\textcircled{1} \quad \Delta Q_T = \Delta Q_0 + \Delta Q_N \left(\frac{S_{30}}{S_N} \right)^2$ <p>式中, ΔQ_0为产生铁心中主磁通的无功功率损耗; ΔQ_N为额定负荷下变压器一、二次绕组电抗上的无功功率损耗</p> $\textcircled{2} \quad \Delta Q_T \approx S_N \left[\frac{I_0\%}{100} + \frac{u_k\%}{100} \left(\frac{S_{30}}{S_N} \right)^2 \right]$ <p>式中, $I_0\%$为变压器空载电流对额定一次电流的百分值, 近似地等于产生铁心中主磁通的励磁电流百分值; $u_k\%$为变压器短路电压(阻抗电压)对额定一次电压的百分值, 近似地等于变压器一、二次绕组电抗电压降百分值。 $I_0\%$和 $u_k\%$可查产品样本(参看表 ZY4-4~6)</p>
		近似公式	$\Delta Q_T \approx 0.06S_{30} \text{ [参看备注]}$ <p>式中, S_{30}为变压器的视在计算负荷</p>
备注	<p>变压器功率损耗计算的近似公式形式较多, 例如:</p> <p>$\textcircled{1} \quad \Delta P_T = 0.02S_{30}, \Delta Q_T = 0.10S_{30}$ 这是前苏联四五十年代使用的近似计算公式(参看文献[9], 只适用于我国 50 年代生产的采用热轧硅钢片铁心的仿苏型式变压器产品的功率损耗计算, 但至今仍有不少供电书籍引用)</p> <p>$\textcircled{2} \quad \Delta P_T = 0.02S_{30}, \Delta Q_T = 0.08S_{30}$ 这是本手册主编在其主编的《工厂供电》教材(机械工业出版社 1979 年版)中提出的近似计算公式, 适用于我国自行设计生产的 SJL₁ 等系列采用冷轧硅钢片铁心的变压器功率损耗计算, 此公式后来为国内部分供电教材和手册所引用</p> <p>$\textcircled{3} \quad \Delta P_T = 0.012S_{30}, \Delta Q_T = 0.06S_{30}$ 这是耿毅在其主编的《工业企业供电》教材(文献[4])中提出的近似计算公式</p> <p>$\textcircled{4} \quad \Delta P_T = 0.01S_{30}, \Delta Q_T = 0.05S_{30}$ 这是中国航空工业设计研究院等编的《工业与民用配电设计手册》第 2 版(文献[7])提出的近似计算公式, 并说明:“当变压器负荷率不大于 85% 时”作为变压器功率损耗概略计算用</p> <p>$\textcircled{5} \quad \Delta P_T = 0.015S_{30}, \Delta Q_T = 0.06S_{30}$</p>		

(续)

序号	项目	计算公式																		
备		<p>这是本手册推荐使用的近似计算公式,最初是本手册主编在其《供电设计中若干问题的探讨》一文(文献[10])中提出的,后来在其主编的高专和中专《工厂供电》教材及《工厂供电简明设计手册》等著作中引用。这公式是依据目前常用的 SL7 系列低损耗配电变压器的技术数据按公式 $\Delta P_T = \Delta P_0 + \Delta P_k \beta^2$ 和 $\Delta Q_T = S_N (I_0\% / 100 + \beta^2 u_k\% / 100)$ 计算得出的,式中 $\beta = S_{30} / S_N$,其结果对 S7、S9 等低损耗配电变压器也基本适用。从表 ZY2-19 所列 SL7 系列低损耗配电变压器的有功和无功损耗值可知,其 $\Delta P_T / S_{30}$ 和 $\Delta Q_T / S_{30}$ 的平均值如附表所列。考虑到变压器损耗计算的目的,在于确定其高压侧的计算负荷,因此取其中间偏大的数值是合理的</p>																		
注		<p>附表 变压器的 $\Delta P_T / S_{30}$ 与 $\Delta Q_T / S_{30}$ 值</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">项目</th> <th colspan="3">变压器负荷率 $\beta = S_{30} / S_N$</th> <th rowspan="2">近似计算公式取值</th> </tr> <tr> <th>1.00</th> <th>0.85</th> <th>0.70</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$\Delta P_T / S_{30}$ 平均值</td> <td>0.0161</td> <td>0.0137</td> <td>0.0113</td> <td>0.015</td> </tr> <tr> <td>$\Delta Q_T / S_{30}$ 平均值</td> <td>0.062</td> <td>0.053</td> <td>0.043</td> <td>0.06</td> </tr> </tbody> </table>	项目	变压器负荷率 $\beta = S_{30} / S_N$			近似计算公式取值	1.00	0.85	0.70	$\Delta P_T / S_{30}$ 平均值	0.0161	0.0137	0.0113	0.015	$\Delta Q_T / S_{30}$ 平均值	0.062	0.053	0.043	0.06
项目	变压器负荷率 $\beta = S_{30} / S_N$			近似计算公式取值																
	1.00	0.85	0.70																	
$\Delta P_T / S_{30}$ 平均值	0.0161	0.0137	0.0113	0.015																
$\Delta Q_T / S_{30}$ 平均值	0.062	0.053	0.043	0.06																

表 ZY2-19 SL7 系列低损耗配电变压器的有功和无功损耗

额定容量 $S_N / \text{kV} \cdot \text{A}$	负荷率 $\beta = S_{30} / S_N$	有功功率损耗		无功功率损耗	
		$\Delta P_T / \text{kW}$	$\Delta P_T / S_{30}$	$\Delta Q_T / \text{kvar}$	$\Delta Q_T / S_{30}$
100	1.00	2.320	0.0232	6.61	0.066
	0.85	1.765	0.0197	5.49	0.056
	0.70	1.300	0.0162	4.56	0.046
200	1.00	3.940	0.0197	12.80	0.064
	0.85	2.997	0.0167	10.58	0.054
	0.70	2.206	0.0138	8.72	0.045
315	1.00	5.560	0.0177	19.85	0.063
	0.85	4.228	0.0150	16.35	0.054
	0.70	3.112	0.0124	13.42	0.044
400	1.00	6.720	0.0168	24.40	0.061
	0.85	5.111	0.0143	19.96	0.052
	0.70	3.762	0.0117	16.24	0.043
500	1.00	7.980	0.0160	30.50	0.061
	0.85	6.065	0.0136	24.95	0.052
	0.70	4.461	0.0112	20.30	0.043
630	1.00	9.400	0.0149	40.95	0.065
	0.85	7.152	0.0127	33.09	0.055
	0.70	5.269	0.0104	26.49	0.046
800	1.00	11.440	0.0143	49.60	0.062
	0.85	8.693	0.0122	39.61	0.053
	0.70	6.391	0.0100	31.24	0.043

(续)

额定容量 $S_N/kV \cdot A$	负荷率	有功功率损耗		无功功率损耗	
	$\beta=S_{30}/S_N$	$\Delta P_T/kW$	$\Delta P_T/S_{30}$	$\Delta Q_T/kvar$	$\Delta Q_T/S_{30}$
1000	1.00	13.400	0.0134	59.00	0.059
	0.85	10.181	0.0114	46.51	0.050
	0.70	7.484	0.0094	36.05	0.041
1250	1.00	16.000	0.0128	73.75	0.059
	0.85	12.171	0.0109	58.14	0.050
	0.70	8.962	0.0090	45.06	0.041
1600	1.00	19.150	0.0120	92.80	0.058
	0.85	14.571	0.0102	72.82	0.049
	0.70	10.735	0.0084	56.08	0.041
平均值	1.00	—	0.0161	—	0.062
	0.85	—	0.0137	—	0.053
	0.70	—	0.0113	—	0.043

注:1. 计算公式为

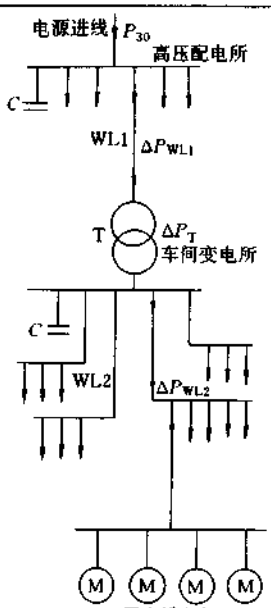
$$\Delta P_T = \Delta P_0 + \Delta P_k \beta^2$$

$$\Delta Q_T = S_N \left(\frac{I_0 \%}{100} + \beta^2 \frac{u_k \%}{100} \right)$$

2. SL7 系列 6~10kV 配电变压器的技术数据参看表 ZY4-5.

8. 工厂计算负荷的计算 如表 ZY2-20 所示。

表 ZY2-20 工厂计算负荷的计算

序号	项 目	说 明
1	工厂计算负荷的计算方法	
1.1	逐级计算法	 <p>由用电设备组计算负荷或车间计算负荷的计算开始,逐级往电源进线方向计算。每经过线路或电力变压器后,均应加上线路或变压器的功率损耗,但工厂配电线路不长,其损耗往往略去不计。在计算并列线路的总计算负荷时,应乘一小于 1 的同时系数 K_x (参看表 ZY2-7)。如装设有无功补偿装置,则在确定补偿装置前面的计算负荷时,应计入补偿容量</p>

(续)

序号	项 目	说 明			
1.2	需要系数法	$P_{30} = K_d P_e$ 式中, K_d 为工厂需要系数, 可查有关手册, 文献[2]中表 ZD2-9 列有部分工厂需要系数值可供参考 Q_{30} 、 S_{30} 和 I_{30} 的计算公式参看表 ZY2-7 序号 1			
1.3	单位产品耗电量法	参看文献[2]中表 ZD2-12、13			
1.4	负荷密度法	参看表 ZY2-14 序号 1			
1.5	单位指标法	参看表 ZY2-14 序号 2			
2	无功补偿装置及其计算				
2.1	无功补偿的功率因数要求	高压供电的工厂, 最大负荷时功率因数为 0.9 以上 低压供电的工厂, 最大负荷时功率因数为 0.85 以上			
2.2	无功补偿装置的类型	有同步补偿机和并联电容器两类。由于并联电容器无旋转部分, 运行维护方便安全, 且便于安装, 能耗小, 投资省, 因此一般工厂均采用并联电容器进行无功补偿			
2.3	无功补偿容量的计算公式 ^①	$Q_C = P_{30}(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$ 式中, P_{30} 为计算负荷; $\tan\varphi_1$ 为对应于补偿前 $\cos\varphi_1$ 的正切; $\tan\varphi_2$ 为对应于补偿后 $\cos\varphi_2$ 的正切			
3	工厂计算负荷的计算示例				
3.1	No. 1 车间变电所 计算负荷的计算	低压补偿前计算负荷	有功	400kW	
			无功	250kvar	
		低压母线无功补偿			-60kvar
		低压补偿后计算负荷 (380V)	有功	400kW	
			无功	190kavr	
			视在	443kV·A	
			电流	673A	
		变压器损耗(近似)	有功	7kW	
			无功	27kvar	
		高压侧计算负荷 (10kV)	有功	407kW	
无功	217kvar				
视在	461kV·A				
电流	26.6A				
3.2	No. 2 车间变电所 计算负荷的计算	-----			
		高压侧计算负荷 (10kV)	有功	728kW	
			无功	474kvar	
			视在	869kV·A	
电流	50A				

(续)

序号	项 目	说 明		
3.3	No. 3 车间变电所 计算负荷的计算	高压侧计算负荷 (10kV)	有功	512kW
			无功	260kvar
			视在	574kV·A
			电流	33A
3.4	工厂高压配电所及全 厂计算负荷的计算	高压配电所计算负荷 $K_z(\text{No. 1} + \text{No. 2} + \text{No. 3})$ 考虑 $K_z = 0.95$	有功	1565kW
			无功	903kvar
		高压无功补偿容量		-180kvar
		全厂计算负荷	有功	1565kW
			无功	723kvar
			视在	1724kV·A
全厂功率因数 $\cos\varphi$		0.91		

① 无功补偿容量计算公式有两种形式:

a. $Q_C = P_{av}(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) = \alpha P_{30}(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$

式中, P_{av} 为平均负荷; P_{30} 为计算负荷; α 为年平均有功负荷系数, 一般取 $\alpha = 0.7 \sim 0.8$ 或略高。(参看文献[3,4,5,6]等)

b. $Q_C = P_{30}(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$

这是本手册和文献[1,2,7,11]等采用的计算公式, $\tan\varphi_1$ 和 $\tan\varphi_2$ 所对应的 $\cos\varphi_1$ 和 $\cos\varphi_2$ 均为无功补偿前后计算负荷时(即最大负荷时)的功率因数, 按此式选择的补偿容量更能满足国家标准和《全国供用电规则》(1983)对功率因数的要求(参看文献[10]).

(四)尖峰电流的计算

1. 尖峰电流的计算公式 如表 ZY2-21 所示。

表 ZY2-21 尖峰电流的计算公式

序号	项 目	计 算 公 式														
1	单台用电设备的 尖峰电流	$I_{pk} = I_n = K_n I_N$ <p>式中, I_N 为设备的额定电流(A); I_n 为设备的起动电流(A); K_n 为设备的起动电流倍数, 即 $K_n = I_n / I_N$, K_n 值如下:</p> <table style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>笼型电动机</td> <td>$K_n = 6 \sim 7$</td> </tr> <tr> <td>绕线型电动机</td> <td>$K_n = 2 \sim 2.5$</td> </tr> <tr> <td>直流电动机</td> <td>$K_n = 1.5 \sim 2$</td> </tr> <tr> <td>单台电弧炉</td> <td>$K_n = 3$</td> </tr> <tr> <td>弧焊变压器和弧焊变流器</td> <td>$K_n \leq 2.1$</td> </tr> <tr> <td>电阻焊机</td> <td>$K_n = 1$</td> </tr> <tr> <td>闪光对焊机</td> <td>$K_n = 2$</td> </tr> </table>	笼型电动机	$K_n = 6 \sim 7$	绕线型电动机	$K_n = 2 \sim 2.5$	直流电动机	$K_n = 1.5 \sim 2$	单台电弧炉	$K_n = 3$	弧焊变压器和弧焊变流器	$K_n \leq 2.1$	电阻焊机	$K_n = 1$	闪光对焊机	$K_n = 2$
笼型电动机	$K_n = 6 \sim 7$															
绕线型电动机	$K_n = 2 \sim 2.5$															
直流电动机	$K_n = 1.5 \sim 2$															
单台电弧炉	$K_n = 3$															
弧焊变压器和弧焊变流器	$K_n \leq 2.1$															
电阻焊机	$K_n = 1$															
闪光对焊机	$K_n = 2$															
2	多台用电设备的 尖峰电流	<p>① 已知各台设备的 I_N 和 I_n 时</p> $I_{pk} = K_z \sum_{i=1}^{n-1} I_{N,i} + I_{n,max}$ <p>式中, $I_{n,max}$ 为其 $(I_n - I_N)$ 为最大的一台设备的 I_n, 亦可近似地视为所有设备中 I_n 的最大者; K_z 为 $n-1$ 台设备的同时系数, 视具体情况取 $0.7 \sim 1$</p> <p>② 已知多台设备的总计算电流 I_{30} 时</p> $I_{pk} = I_{30} + (I_n - I_N)_{max}$ <p>式中, $(I_n - I_N)_{max}$ 为所有设备中 $(I_n - I_N)$ 或 I_n 为最大者</p>														

(续)

序号	项 目	计 算 公 式																	
3	n 台电动机自起动的尖峰电流	$I_{pk} = \sum_{i=1}^n I_{N,i}$																	
4	供电给起重机的触电线尖峰电流	$I_{pk} = I_{30} + (K_{\alpha, \max} - K_{\beta}) I_{N, \max}$ <p>式中, I_{30} 为计算电流; $I_{N, \max}$ 为 I_N 为最大的电动机的 I_N; $K_{\alpha, \max}$ 为 I_N 为最大的电动机的 K_{α}; K_{β} 为综合系数 (synthetical factor), 如下表所列</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>起重机额定负荷持续率</th> <th>滑触线上的起重机台数</th> <th>综合系数 K_{β}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">$\epsilon_N = 25\%$</td> <td>1</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0.25</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">$\epsilon_N = 40\%$</td> <td>1</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0.38</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0.32</td> </tr> </tbody> </table>	起重机额定负荷持续率	滑触线上的起重机台数	综合系数 K_{β}	$\epsilon_N = 25\%$	1	0.4	2	0.3	3	0.25	$\epsilon_N = 40\%$	1	0.5	2	0.38	3	0.32
起重机额定负荷持续率	滑触线上的起重机台数	综合系数 K_{β}																	
$\epsilon_N = 25\%$	1	0.4																	
	2	0.3																	
	3	0.25																	
$\epsilon_N = 40\%$	1	0.5																	
	2	0.38																	
	3	0.32																	

2. Y 系列 380V 三相异步电动机的技术数据 如表 ZY2-22 所示。这里列出这类电动机的技术数据, 是为了计算尖峰电流参考。技术数据中的“堵转电流”和“堵转转矩”亦即起动电流和起动转矩。

表 ZY2-22 Y 系列 380V 异步电动机的技术数据

型 号	额定功率 kW	满 载 时				堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩
		转速 (r · min ⁻¹)	电流 A	效率 (%)	cosφ			
Y160M-2	15	2928	29.3	88	0.88	7.0	1.7	2.2
Y160L1-2	18.5	2929	35.2	89	0.89	7.0	1.8	2.2
Y160L2-2	22	2928	41.8	89.5	0.89	7.0	2.0	2.2
Y180M-2	30	2938	56.7	89.5	0.89	7.0	1.7	2.2
Y180L-2	37	2939	69.2	90.5	0.89	7.0	1.9	2.2
Y200M-2	45	2952	84.4	91	0.89	7.0	1.9	2.2
Y200L-2	55	2950	100.8	91.5	0.89	7.0	1.9	2.2
Y225M-2	75	2955	137.9	91.5	0.89	7.0	1.8	2.2
Y250S-2	90	2966	164.9	92	0.89	7.0	1.7	2.2
Y250M-2	110	2965	199.4	92.5	0.90	7.0	1.7	2.2
Y280M-2	132	2967	238	92.5	0.90	7.0	1.6	2.2
Y160M-4	11	1459	22.4	87.5	0.85	7.0	1.9	2.2
Y160L1-4	15	1458	29.9	88	0.86	7.0	2.0	2.2
Y160L2-4	18.5	1458	36.5	89	0.86	7.0	2.0	2.2
Y180M-4	22	1467	43.2	89.5	0.86	7.0	1.9	2.2
Y180L-4	30	1467	57.9	90.5	0.87	7.0	1.9	2.2
Y200M-4	37	1473	71.1	90.5	0.87	7.0	2.0	2.2
Y200L-4	45	1473	85.5	91	0.87	7.0	2.0	2.2
Y225M-4	55	1476	103.6	91.5	0.88	7.0	1.8	2.2
Y250S-4	75	1480	140.1	92	0.88	7.0	2.0	2.2
Y250M-4	90	1480	167.2	92.5	0.88	7.0	2.2	2.2
Y280S-4	110	1482	202.4	92.5	0.88	7.0	1.7	2.2
Y280M-4	132	1483	241.3	93	0.88	7.0	1.8	2.2

(续)

型 号	额定功率 kW	满 载 时				堵转电流 额定电流	堵转转矩 额定转矩	最大转矩 额定转矩
		转速 (r · min ⁻¹)	电流 A	效率 (%)	cosφ			
Y160M-6	7.5	971	16.7	85	0.79	6.5	2.0	2.0
Y160L-6	11	971	23.9	86.5	0.78	6.5	2.0	2.0
Y180M-6	15	974	31	88	0.81	6.5	1.8	2.0
Y180L-6	18.5	975	37.8	88.5	0.83	6.5	1.8	2.0
Y200M-6	22	978	43.7	89	0.85	6.5	1.7	2.0
Y200L-6	30	975	58.6	89.5	0.85	6.5	1.7	2.0
Y225M-6	37	982	70.2	90.5	0.87	6.5	1.8	2.0
Y250S-6	45	983	86.2	91	0.86	6.5	1.8	2.0
Y250M-6	55	983	104.2	91	0.87	6.5	1.8	2.0
Y280S-6	75	986	140.8	91.5	0.87	6.5	1.8	2.0
Y280M-6	90	986	166.8	92	0.88	6.5	1.8	2.0
Y160M-8	5.5	723	13.5	83.5	0.73	6.0	2.0	2.0
Y160L-8	7.5	723	18.0	85	0.73	6.0	2.0	2.0
Y180M-8	11	727	25.1	86.5	0.74	6.0	1.8	2.0
Y180L-8	15	726	34.0	87.5	0.76	6.0	1.8	2.0
Y200M-8	18.5	728	40.2	88.5	0.78	6.0	1.7	2.0
Y200L-8	22	729	47.7	89	0.78	6.0	1.8	2.0
Y225M-8	30	734	61.7	89.5	0.81	6.0	1.7	2.0
Y250S-8	37	735	76.3	90	0.80	6.0	1.6	2.0
Y250M-8	45	736	92.8	90.5	0.79	6.0	1.8	2.0
Y280S-8	55	740	112.4	91	0.80	6.0	1.8	2.0
Y280M-8	75	740	151	91.5	0.81	6.0	1.8	2.0

主要参考文献

- 1 刘介才编. 工厂供电 (第2版). 北京: 机械工业出版社, 1991
- 2 刘介才主编. 工厂供电简明设计手册. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 3 苏文成主编. 工厂供电. 北京: 机械工业出版社, 1981
- 4 耿毅主编. 工业企业供电. 北京: 冶金工业出版社, 1985
- 5 机械工程手册, 电机工程手册编委会编. 电气工程师手册. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 6 陈一才编著. 高层建筑电气设计手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990
- 7 中国航空工业规划设计研究院等编. 工业与民用配电设计手册. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 8 [苏] 尤·勒·莫科谢也夫著. 工业企业供电问题. 东北化工管理局设计处翻译科译. 北京: 燃料工业出版社, 1993
- 9 [苏] 阿·阿·费道洛夫等著. 工业企业供电. 张盖楚等译. 北京: 重工业出版社, 1954
- 10 刘介才著. 供电设计中若干问题的探讨. 四川省电工技术学会优秀论文集 (一), 1990年10月
- 11 国家标准 GB50052—95 供配电系统设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1996
- 12 行业标准 JGJ/T16—92 民用建筑电气设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1993
- 13 行业标准 JBJ6—96 机械工厂电力设计规范. 北京: 机械工业出版社, 1996

三、短路电流及其计算 (ZY3)

(一) 有关短路电流及其计算的名词术语

有关短路电流及其计算的名词术语, 如表 ZY3-1 所示。

表 ZY3-1 有关短路电流及其计算的名词术语

序号	名词术语	含义说明
1	短路电流 short-circuit current	指由于故障或误操作在电路中造成短路时所产生的过电流, 这一短路电流比正常电流一般要大几十倍甚至几百倍。在大的电力系统中, 短路电流可达几万安甚至几十万安, 对电力系统产生极大的危害。符号为 i_k (瞬时值)
2	短路电流周期分量 periodic component of short-circuit current	指短路电流在短路过程中出现的一个呈周期性变化的交流分量。它的变化规律符合欧姆定律, 即其任何时间的值决定于当时短路回路的电压和阻抗值。因此在短路初始瞬间 ($t=0$ 时), 短路电流周期分量因回路阻抗骤减而要剧增。符号为 i_p 或 $i_{k,p}$ 。其有效值通常用 I_k 表示
3	短路电流非周期分量 non-periodic component of short-circuit current, (aperiodic)	指短路电流在短路过程中出现的一个按指数函数衰减的直流分量。它的产生是根据楞次定律, 在短路初始瞬间感应出一个反电动势, 产生一个与短路电流周期分量反向的短路电流非周期分量, 使电路电流不致突变。符号为 i_{np} 或 $i_{k,np}$
4	短路全电流 short-circuit whole current	即短路电流周期分量与非周期分量之和, 亦即短路电流, 符号亦用 i_k 表示。其 t 时有效值 $I_k = \sqrt{I_p^2(t) + i_{np}^2(t)}$
5	短路冲击电流 short-circuit shock current, impulse short-circuit current	又称“冲击短路电流”。指短路过程中的短路全电流最大瞬时值, 一般指短路后半个周期 (即 0.01s) 的短路全电流瞬时值。符号为 i_{sh}
6	短路冲击电流有效值 effective value of short-circuit shock current	指短路后第一个周期的短路全电流有效值, 符号为 I_{sh} , 即 $I_{sh} = \sqrt{I_p^2(0.01) + i_{np}^2(0.01)}$ 亦称“短路全电流最大有效值”
7	短路稳态电流 short-circuit stated current	又称“稳态短路电流”。指短路电流非周期分量衰减完毕, 短路进入稳定状态的短路电流。短路稳态电流有效值符号为 I_∞
8	短路次暂态电流 short-circuit sub-transient current	又称“次暂态短路电流”, 或称“超瞬变短路电流”。指短路初始瞬间的短路电流周期分量有效值, 符号为 I'' 。短路次暂态电流的幅值 (极大值) 符号为 I''_m
9	短路计算电压 short-circuit calculated voltage	指短路计算中采用的电压, 按线路首端短路时的电压来考虑, 即比线路额定电压 U_N 高 5% 来考虑。符号为 U_c 。常用的 U_c 有: 400V, 3.15kV, 6.3kV, 10.5kV, 37kV, 115kV, 230kV 等。也有的称为“平均额定电压”, 指线路最高电压 (高于额定电压 10%) 与额定电压的平均值, 符号为 U_∞ 。本手册推荐采用“短路计算电压” (U_c)

(续)

序号	名词术语	含义说明
10	短路回路 short-circuit loop	又称“短路电路”。指短路电流流过的整个电路,亦即从各供电电源至短路点的整个电路
11	计算阻抗,计算电抗 calculated impedance, calculated reactance	指短路回路的总阻抗,总电抗。在计算短路电流的一种计算曲线(通称“运算曲线”,参看表 ZY3-4 序号 7)上,计算电抗(又称“运算电抗”)用以发电机总容量为基准容量的标么值(本表序号 14)来表示
12	无限大容量电力系统 power system with infinitely great capacity	指电力系统容量相对于用户电网容量相当大(一般认为系统容量大于用户电网容量 50 倍),或者短路点离电源较远,系统阻抗相对于短路总阻抗较小(一般认为系统阻抗不大于短路总阻抗的 5%~10%),因而可将系统母线电压视为恒定不变的电力系统
13	有限容量电力系统 power system with definite capacity	指电力系统容量相对于用户电网容量不是很大,或者短路点离电源较近,使系统阻抗相对于短路回路总阻抗不是很小,因而系统母线电压不能维持恒定不变的电力系统
14	标么值 relative value	指物理量的实际值与某一基准值相比的相对值,即 $A_d \stackrel{\text{def}}{=} \frac{A}{A_d}$ 式中, A 为某物理量的实际值; A_d 为选取的基准值; A_d 表示 A 以 A_d 为基准的标么值,符号“*”是标么值符号,可标于物理量字母的右上角或右下角(写成 A_{*d})
15	基准值 datum value	指标么值所取的相对标准数值,基准值原则上可以任意选取,但由于物理量之间有一定的内在联系,因此不是所有的基准值都可以任意选取。例如,在用标么值计算短路电流时,有关的电压、电流、阻抗和功率这四个物理量,当选定了电压和功率的基准值 U_d 和 S_d 以后,电流和阻抗的基准值 I_d 和 Z_d 就不能任意选取了,而是应由 U_d 和 S_d 来确定,即 $I_d = \frac{S_d}{\sqrt{3} U_d}$ $|Z_d| = \frac{U_d}{\sqrt{3} I_d} = \frac{U_d^2}{S_d}$ 在短路计算中, U_d 通常选取各级电网的短路计算电压 U_c (参看本表序号 9),而 S_d 通常选取 100MV·A 或系统电源的总容量
16	短路容量 short-circuit capacity	指电力系统中某一供电点发生三相短路时的短路功率(MV·A),其定义式为: $S_k \stackrel{\text{def}}{=} \sqrt{3} U_c I_k$ 式中, I_k 为该点三相短路电流(kA); U_c 为该点所属电网的短路计算电压(kV),比电网额定电压高 5%
17	断路容量 open-circuit capacity	又称“断路功率”,或称“断流容量”。指开关电器能分断电路的最大视在功率(MV·A)。符号 S_{oc}
18	电动效应 electrodynamic effect	指短路电流通过导体所产生的很大的电动力(即电磁力)作用。由于短路过程中短路冲击电流(本表序号 5)最大,它所产生的电动力也最大,所以电动效应通常以短路冲击电流来衡量

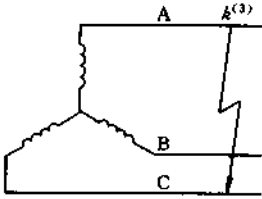
(续)

序号	名词术语	含义说明
19	热效应 thermal effect	指短路电流通过导体所产生的很大热量的作用,由于短路电流很大,而短路时间通常很短(短路保护装置要快速切除短路故障),所以在考虑短路热效应时通常只考虑发热而不考虑散热
20	动稳定 electrodynamic stable	指电气设备和导体能承受可能最大的短路冲击电流产生的电动力作用而不致损坏
21	热稳定 thermal stable	指电气设备和导体能承受短路电流产生的最大热量作用而不致损坏
22	假想时间 imaginary time	指在此时间内以短路稳态电流 I_{∞} 通过导体所产生的热量与实际短路电流在实际短路时间内产生的热量相等的一个假定时间,又称“热效时间”

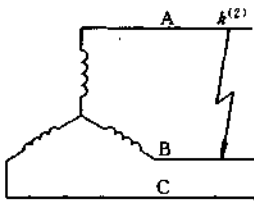
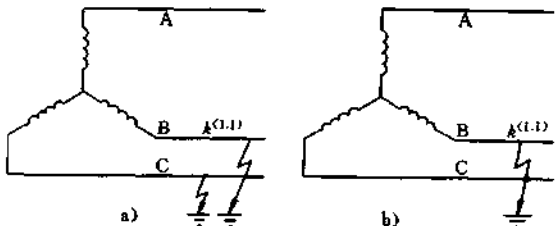
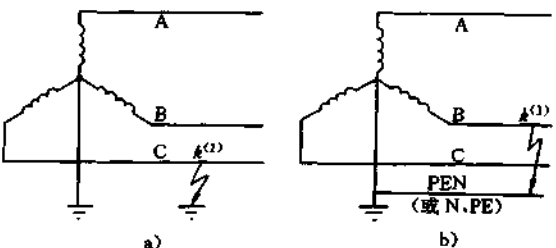
(二)短路的原因、后果及其类型

短路的原因、后果及其类型,如 ZY3-2 所示。

表 ZY3-2 短路的原因、后果及其类型

序号	项目	说明
1	短路发生的原因	
1.1	设备绝缘损坏	可能是由于设备长期运行、绝缘自然老化;也可能是由于设备本身质量有问题、绝缘强度不够;或者设备绝缘正常而被过电压(例如雷电过电压)击穿,或遭受外力损伤而造成击穿短路
1.2	人员误操作	可能是由于未遵守安全操作规程而发生误操作(例如带负荷误拉高压隔离开关而造成弧光短路);或者是误将较低电压的设备接入较高电压的电路中,造成绝缘击穿短路
1.3	鸟兽害事故	鸟兽蛇鼠等跨越在裸露的相线之间或相线与接地装置之间;或者是这些动物咬坏设备及导线电缆的绝缘而导致短路事故
2	短路产生的后果	
2.1	损坏电路设备	短路电流要产生很大的电动力和很高的温度,可使故障设备造成严重损坏,并可能损坏电路其它设备
2.2	造成停电事故	由于电路中装设有短路保护装置,因此在电路短路时,将使短路电路断开,从而造成停电。短路点越靠近电源,短路引起停电的范围越大,给国民经济造成的损失也越大
2.3	引起电压骤降	短路时电压要骤降,从而严重影响电气设备的正常运行。电压的严重下降,还可能破坏各发电厂并列运行的稳定性,使并列运行的发电机组失去同步,造成系统解列
2.4	造成电磁干扰	不对称短路的短路电流产生的不平衡磁场,对附近的通信线路、信号系统及电子设备等产生严重干扰,影响其正常运行,甚至可能造成误动作
3	短路的类型	
3.1	对称短路 三相短路 $k^{(3)}$	 <p>三相短路电流标为 $i_k^{(3)}$,在不致引起混淆时,可省去“(3)”</p>

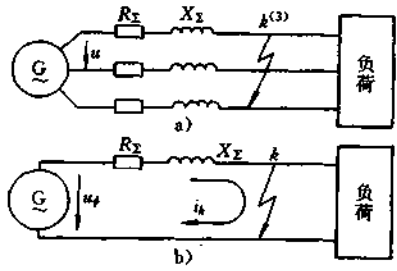
(续)

序号	项目	说明
3.2	两相短路 $k^{(2)}$	
3.3	不对称短路 两相接地短路 $k^{(1,1)}$	
3.4	单相短路 $k^{(1)}$	

(三)电力系统对称短路的分析计算

1. 无限大容量电力系统的三相短路及短路电流 如表 ZY3-3 所示。

表 ZY3-3 无限大容量电力系统的三相短路及短路电流

序号	项目	说明
1	三相短路的物理过程	 <p>图 a 为三相短路电路图, 图 b 为其单相等效电路图 由于短路电流远比负荷电流大, 因此电路的突然短路可近似地看作为一个 RL 电路突然接上一个正弦交流电压, 如图 c 所示</p>

序号	项目	说明
1	三相短路的物理过程	<div data-bbox="718 448 1085 560" data-label="Diagram"> <p style="text-align: center;">c)</p> </div> <p data-bbox="542 582 1308 828">在电路突然短路时,由于负荷阻抗和部分线路阻抗被短路,电路阻抗突然减小很多倍,因此按照欧姆定律,在电源电压不变时,电路电流要突然增大很多倍,这一电流就是短路电流周期分量,如图 d 中曲线 i_p。但是由于电路中存在着电感,按照楞次定律,电路电流不能突变,因而引起一个过渡过程,即短路暂态过程,出现一个按指数函数衰减的电流,这一电流就是短路电流非周期分量,如图 d 中曲线 i_{np}。这两个电流曲线的叠加就得到短路全电流 i_k 的曲线。从 i_k 曲线可以看出,短路全电流在短路时确实没有突变</p> <div data-bbox="718 851 1149 1299" data-label="Figure"> <p style="text-align: center;">d)</p> </div>
2	三相短路电流及其周期分量和非周期分量的数学分析	<p data-bbox="542 1433 1292 1478">设 $u_\varphi = U_{\varphi m} \sin \omega t$, $i = I_m \sin(\omega t - \varphi)$, 现 $t=0$ 时短路, 则可列出短路回路电压方程为</p> $Ri_k + L \frac{di_k}{dt} = U_{\varphi m} \sin \omega t$ <p data-bbox="542 1523 734 1568">解此微分方程可得</p> $i_k = I_{km} \sin(\omega t - \varphi_k) + Ce^{-\frac{t}{\tau}}$ <p data-bbox="542 1612 1308 1724">式中, $I_{km} = U_{\varphi m} / |Z_\Sigma|$, 为短路电流周期分量最大值; $|Z_\Sigma| = \sqrt{R_\Sigma^2 + X_\Sigma^2}$, 为短路回路总阻抗; $\varphi_k = \arctan(X_\Sigma / R_\Sigma)$, 为短路回路阻抗角; $\tau = L / R_\Sigma = X_\Sigma / (\omega R_\Sigma)$, 为短路回路时间常数; C 为积分常数, 由电路初始条件确定</p> <p data-bbox="542 1724 1085 1769">由于 $t=0$ 时, $i_k = i_0 = I_m \sin(-\varphi) = -I_m \sin \varphi$, 因此由上式得</p> $-I_m \sin \varphi = -I_{km} \sin \varphi_k + C$ <p data-bbox="542 1792 558 1836">即</p> $C = I_{km} \sin \varphi_k - I_m \sin \varphi$

(续)

序号	项目	说明
2	三相短路电流及其周期分量和非周期分量的数学分析	<p>故</p> $i_k = I_{km} \sin(\omega t - \varphi_k) + (I_{km} \sin \varphi_k - I_m \sin \varphi) e^{-\frac{t}{\tau}} = i_p + i_{np}$ <p>式中, $i_p = I_{km} \sin(\omega t - \varphi_k)$ 为短路电流周期分量; $i_{np} = (I_{km} \sin \varphi_k - I_m \sin \varphi) e^{-\frac{t}{\tau}}$ 为短路电流非周期分量</p> <p>如果 $X_L \gg R_L$, 短路回路可认为纯电感电路, 则 $\varphi_k \approx 90^\circ$, 这时短路电流周期分量为</p> $i_p \approx I_{km} \sin(\omega t - 90^\circ) = -I_{km} \cos \omega t$ <p>短路电流非周期分量为</p> $i_{np} \approx (I_{km} - I_m \sin \varphi) e^{-\frac{t}{\tau}}$ <p>在 $t=0$ 时</p> $i_{p0} \approx -I_{km}$ $i_{np0} \approx I_{km} - I_m \sin \varphi$ <p>本表序号 1 中图 d 的电流曲线 i_p、i_{np} 和 i_k 就是按短路回路为纯电感电路绘出的</p>
3	三相短路冲击电流 i_{sh}	<p>由本表序号 1 中图 d 的电流曲线可以看出, 三相短路电流 i_k 的最大瞬时值出现在短路后半周期(即 $\omega t = 180^\circ$)或 $t = 0.01s$ 的时刻, 这一最大瞬时值即短路冲击电流为</p> $i_{sh} = i_p(0.01) + i_{np}(0.01) \approx I_{km} (1 + e^{-\frac{0.01}{\tau}}) = K_{sh} I_{km} = K_{sh} \sqrt{2} I_k = K_{sh} \sqrt{2} I''$ <p>式中, $K_{sh} = 1 + e^{-\frac{0.01}{\tau}}$, 称为“短路冲击系数”, I'' 为短路次暂态电流(参看表 ZY3-1 序号 8), 在无限大系统中, $I'' = I_k$; I_k 为短路电流周期分量有效值</p> <p>由 $K_{sh} = 1 + e^{-\frac{0.01}{\tau}} = 1 + e^{-\frac{0.01 R_L}{L_L}}$ 可知, 当 $R_L \rightarrow 0$ 时, $K_{sh} \rightarrow 2$; 当 $L_L \rightarrow 0$ 时, $K_{sh} \rightarrow 1$, 故 $K_{sh} = 1 \sim 2$</p> <p>在高压电路中发生三相短路时, 一般可取 $K_{sh} = 1.8$, 因此</p> $i_{sh} = 2.55 I''$ <p>在低压电路和 $1000kV \cdot A$ 及以下电力变压器二次侧发生三相短路时, 一般可取 $K_{sh} = 1.3$, 因此</p> $i_{sh} = 1.84 I''$
4	三相短路冲击电流有效值 I_{sh}	<p>即三相短路全电流最大有效值, 出现在短路后第一个周期, 其值为</p> $I_{sh} = \sqrt{I_{k(0.01)}^2 + i_{np(0.01)}^2} \approx \sqrt{I''^2 + (\sqrt{2} I'' e^{-\frac{0.01}{\tau}})^2} = \sqrt{1 + 2(K_{sh} - 1)^2} I''$ <p>在高压电网中发生三相短路时, 一般可取 $K_{sh} = 1.8$, 因此</p> $I_{sh} = 1.51 I''$ <p>在低压电网和 $1000kV \cdot A$ 及以下电力变压器二次侧发生三相短路时, 一般可取 $K_{sh} = 1.3$, 因此</p> $I_{sh} = 1.09 I''$

(续)

序号	项目	说明
5	三相短路稳态电流有效值 I_∞	<p>短路电流非周期分量 i_{np} 衰减至初始值的 2%~5% 以下时,就可认为衰减完毕,这时间一般不到 10 个周期(即 0.2s)。当 i_{np} 衰减完毕后,短路电流进入稳定状态,这时的短路电流即为短路稳态电流,其值为</p> $I_\infty = \frac{U_c}{\sqrt{3} |Z_\Sigma|}$ <p>式中, U_c 为短路计算点的短路计算电压(参看表 ZY3-1 序号 9); |Z_Σ| 为短路回路的总阻抗[模]</p> <p>在无限大系统中,短路电流周期分量的幅值在短路全过程中始终恒定不变,因此</p> $I_\infty = I'' = I_k$ <p>式中, I_k 为短路电流周期分量有效值</p>

2. 有限容量电力系统的三相短路及短路电流 如表 ZY3-4 所示。

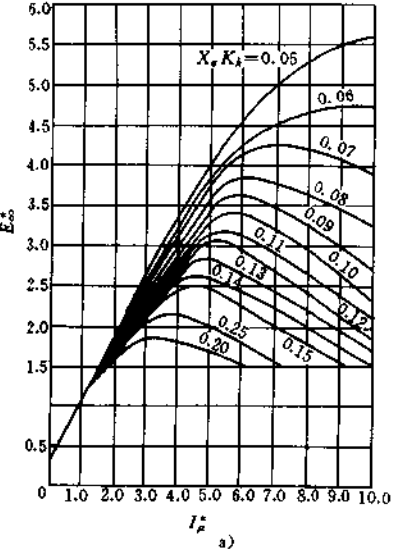
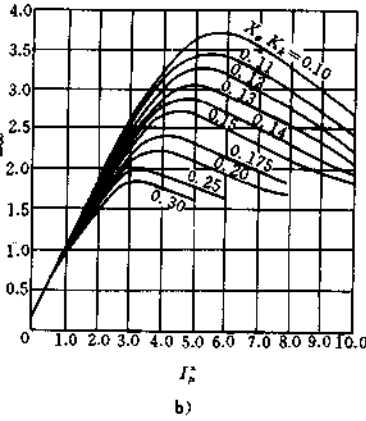
表 ZY3-4 有限容量电力系统的三相短路及短路电流

序号	项目	说明
1	未装自动调节励磁装置的同步发电机供电的系统中三相短路时的短路电流	<p>在有限容量系统中,短路电流周期分量的幅值随电源电压的变化而变化。未装自动调节励磁装置的同步发电机供电的系统中发生三相短路时,发电机端电压下降,因此短路电流周期分量的幅值要逐渐减小,直至进入稳态过程才不再变化,如图 a 中曲线 i_p 所示。而短路电流非周期分量则是由具有电感的短路回路电流在短路瞬间不能突变而产生的,其变化规律与无限大系统短路产生的短路电流非周期分量是一样的,是一条按指数函数衰减的曲线,短路进入稳态后消失,如图 a 中曲线 i_{np} 所示。短路全电流 i_k 则为 i_p 与 i_{np} 之和</p> <p style="text-align: center;">a)</p>
2	装有自动调节励磁装置的同步发电机供电的系统中三相短路时的短路电流	<p>装有自动调节励磁装置的同步发电机供电的系统中发生三相短路时,约在短路后 0.5s 内,其自动调节励磁装置开始起作用,迅速增大发电机的励磁电流,使发电机端电压自动回升,因此短路电流周期分量的幅值将由逐渐减小而随之转为逐渐增大,如图 b 中曲线 i_p 所示。短路电流非周期分量仍为维持短路瞬间电路电流不致突变而产生,依然为一按指数函数衰减的曲线,如图 b 中曲线 i_{np} 所示。短路全电流 i_k 仍为 i_p 与 i_{np} 之和</p> <p style="text-align: center;">b)</p>

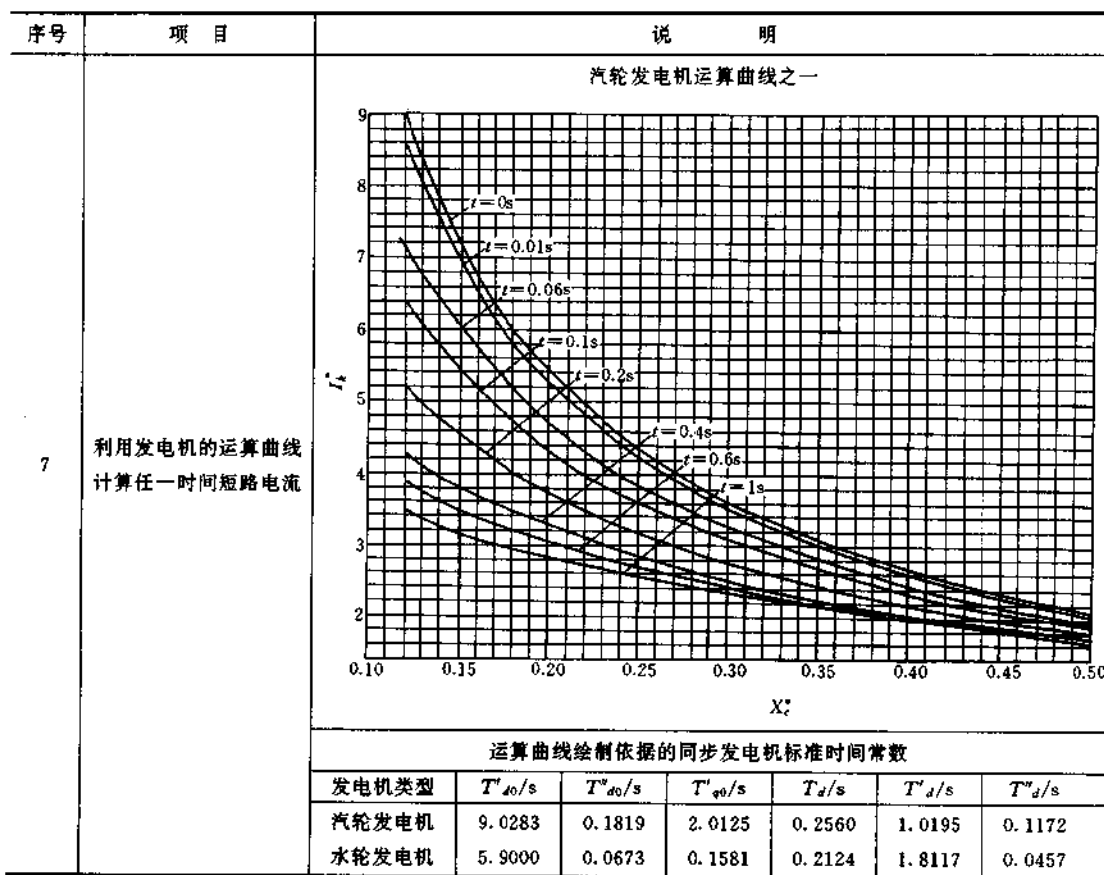
(续)

序号	项目	说明																																																				
3	三相短路次暂态电流 I''	$I'' = \frac{E''}{\sqrt{3}(x''_d + x_{ex})} \approx \frac{KU_{N.G}}{\sqrt{3}(x''_d + x_{ex})}$ <p>式中, x''_d 为发电机的次暂态电抗; x_{ex} 为从发电机出口至短路点的短路回路电抗(外部电抗); E'' 为发电机的次暂态电动势; $U_{N.G}$ 为发电机额定电压; K 为计算系数, 与发电机型式有关, 如下表所列</p> <p style="text-align: center;">计算 I'' 的计算系数 K</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">发电机型式</th> <th colspan="9">$X''_d + X''_e$ 为下列数值时的 K 值</th> </tr> <tr> <th>0.2</th> <th>0.27</th> <th>0.3</th> <th>0.4</th> <th>0.5</th> <th>0.75</th> <th>1.0</th> <th>1.5</th> <th>≥ 2</th> </tr> <tr> <td rowspan="2">水轮发电机</td> <td>无阻尼绕组</td> <td>—</td> <td>1.16</td> <td>1.14</td> <td>1.1</td> <td>1.07</td> <td>1.05</td> <td>1.03</td> <td>1.02</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>有阻尼绕组</td> <td>1.11</td> <td>1.07</td> <td>1.05</td> <td>1.03</td> <td>1.02</td> <td>1.0</td> <td>1.0</td> <td>1.0</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td colspan="2">汽轮发电机</td> <td colspan="9">1.0</td> </tr> </table> <p>备注 X''_d 和 X''_e 均为以发电机额定总容量 S_{N2} 为基准容量的 X''_d 和 X''_e 的标么值</p>	发电机型式		$X''_d + X''_e$ 为下列数值时的 K 值									0.2	0.27	0.3	0.4	0.5	0.75	1.0	1.5	≥ 2	水轮发电机	无阻尼绕组	—	1.16	1.14	1.1	1.07	1.05	1.03	1.02	1.0	有阻尼绕组	1.11	1.07	1.05	1.03	1.02	1.0	1.0	1.0	1.0	汽轮发电机		1.0								
		发电机型式			$X''_d + X''_e$ 为下列数值时的 K 值																																																	
				0.2	0.27	0.3	0.4	0.5	0.75	1.0	1.5	≥ 2																																										
		水轮发电机	无阻尼绕组	—	1.16	1.14	1.1	1.07	1.05	1.03	1.02	1.0																																										
有阻尼绕组	1.11		1.07	1.05	1.03	1.02	1.0	1.0	1.0	1.0																																												
汽轮发电机		1.0																																																				
4	三相短路冲击电流 i_{sh} 和冲击电流有效值 I_{sh}	$i_{sh} = K_{sh} \sqrt{2} I''$ (参看表 ZY3-3 序号 3) $I_{sh} = \sqrt{1 + 2(K_{sh} - 1)^2} I''$ (参看表 ZY3-3 序号 4) 式中, K_{sh} 为短路冲击系数 ①当短路发生在单机容量为 12000kW 及以上的发电机端时, 取 $K_{sh} = 1.9$, 因此 $i_{sh} = 2.69 I''$ $I_{sh} = 1.62 I''$ ②短路点远离发电厂, 短路回路的 $R_2 < X_2/3$ 时, 取 $K_{sh} = 1.8$, 因此 $i_{sh} = 2.55 I''$ $I_{sh} = 1.51 I''$ ③在电阻较大的短路回路中 ($R_2 > X_2/3$) 时, 取 $K_{sh} = 1.3$, 因此 $i_{sh} = 1.84 I''$ $I_{sh} = 1.09 I''$																																																				
		5	三相短路稳态电流 I_∞ (发电机未装自动调节励磁装置)	$I_\infty \approx \frac{U_{N.G}}{\sqrt{3}(X_d + X_{ex})} \approx \frac{U_c}{\sqrt{3}(X_d + X_{ex})}$ <p>式中, $U_{N.G}$ 为发电机额定电压; U_c 为短路计算电压 ($U_c = U_{N.G}$); X_{ex} 为从发电机出口至短路点的总电抗(外部电抗); X_d 为发电机的稳态直轴电抗, 汽轮发电机约为 1.62, 水轮发电机约为 1.15(均为以发电机额定容量为基准容量的标么值)</p>																																																		
				6	三相短路稳态电流 I_∞ (发电机装有自动调节励磁装置)	①根据发电机的定子漏抗 X'_d 、短路比 K_A 及励磁电流 I_f , 从图 a(汽轮发电机稳态电动势曲线)或图 b(水轮发电机稳态电动势曲线)的曲线上查得稳态电动势 E'_∞ ②计算发电机的稳态(同步)电抗 $X_d = \frac{E'_\infty}{K_A I_f}$ ③当有外接电抗 X_{ex} 时, 先将它换算为标么值, 并假定发电机处于强行励磁状态, 则短路稳态电流(标么值)为 $I_\infty = \frac{E'_\infty}{X_d + X_{ex}}$																																																

(续)

序号	项目	说明
6	三相短路稳态电流 I_{∞} (发电机装有自动 调节励磁装置)	<p>以上方法,为一种近似计算方法,略去了不少因素,但完全可以满足电气设备选择和继电保护整定计算的要求</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>
7	利用发电机的运算曲线 计算任一时间短路电流	<p>①将短路回路的总电抗标么值 X_{Σ}^{\prime} 换算到以电源总容量为基准的计算电抗 X_c^{\prime}</p> $X_c^{\prime} = X_{\Sigma}^{\prime} \frac{S_{N.\Sigma}}{S_d}$ <p>式中, S_d 为 X_{Σ}^{\prime} 的基准容量; $S_{N.\Sigma}$ 为 X_c^{\prime} 的基准容量(电源总容量)</p> <p>②按 X_c^{\prime} 及短路计算时间 t 去查相应的发电机运算曲线(见下图)或运算曲线数字表,即可得到短路电流周期分量有效值标么值 I_t^{\prime} (以电源总容量为基准)</p> <p>③由下式计算短路后经时间 t(s)时的短路电流周期分量有效值</p> $I_t = I_t^{\prime} I_d$ <p>式中, $I_d = S_{N.\Sigma} / (\sqrt{3} U_d)$ 为 I_t^{\prime} 的基准电流</p> <p>④下图所示运算曲线,仅是汽轮发电机运算曲线之一(示例),实际上发电机运算曲线有多图,可参看有关设计手册,如文献[4]等。运算曲线上的计算电抗 X_c^{\prime} 最大值一般只较 3 稍大一点。如计算电抗 $X_c^{\prime} > 3$, 则可按无限大容量电力系统考虑</p> <p>⑤绘制运算曲线的同步发电机的标准参数如下表所示。如果实际发电机的时间常数与标准参数相差较大,则应采用修正后的短路时间去查运算曲线,详见文献[4],此略</p> <p>⑥上述运算曲线中没有 $t = \infty$ 的曲线(按老型号发电机绘制的运算曲线中有 $t = \infty$ 的曲线),因此 I_{∞} 可由 $t = \phi s$ (最大值)的曲线上查取</p>

(续)

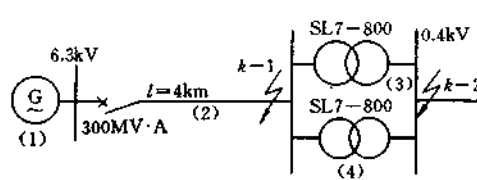


3. 利用标么值法进行三相短路计算 如表 ZY3-5 所示。

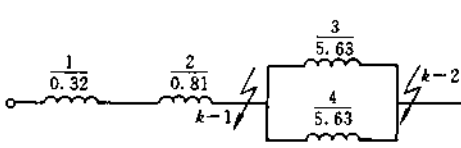
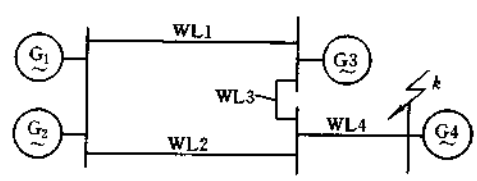
表 ZY3-5 利用标么值法进行三相短路计算

序号	项目	说明
1	标么制的基础值	
1.1	基准容量 $S_d/MV \cdot A$	①一般设 $S_d=100MV \cdot A$ ②在有限容量电力系统中,通常设 $S_d=S_{N,2}$ (电源总容量)
1.2	基准电压 U_d/kV	通常设 $U_d=U_c$ (短路计算电压,参看表 ZY3-1 序号 9)
1.3	基准电流 I_d/kA	$I_d = \frac{S_d}{\sqrt{3} U_d}$
1.4	基准阻抗 $|Z_d|/\Omega$ 或基准电抗 X_d/Ω	或 $|Z_d| = \frac{U_d^2}{S_d}$ $X_d = \frac{U_d^2}{S_d} \text{ (可略去电阻时)}$
2	标么值的定义	
2.1	容量标么值	$S_d \stackrel{\text{def}}{=} \frac{S}{S_d}$
2.2	电压标么值	$U_d \stackrel{\text{def}}{=} \frac{U}{U_d}$
2.3	电流标么值	$I_d \stackrel{\text{def}}{=} \frac{I}{I_d} = \frac{\sqrt{3} U_d I}{S_d}$

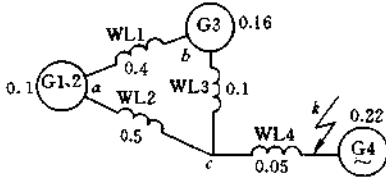
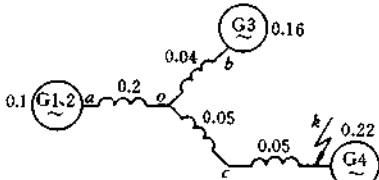
(续)

序号	项目	说明															
2.4	阻抗及电抗标么值	$ Z_d \stackrel{\text{def}}{=} \frac{ Z }{ Z_d } = Z \frac{S_d}{U_d^2}$ $X_d \stackrel{\text{def}}{=} \frac{X}{X_d} = X \frac{S_d}{U_d^2} \text{ (可略去电阻时)}$															
3	短路回路中主要元件的电抗标么值计算																
3.1	电力系统的电抗标么值 (适于无限容量系统)	$X_d = X_s / X_d = \frac{U_d^2}{S_{sc}} \frac{U_s^2}{S_d} = \frac{S_d}{S_{sc}}$ <p>式中, S_{sc} 为电力系统出口断路器的断流容量(视为电力系统的短路容量)</p>															
3.2	发电机的电抗标么值	$X_{d.G} = X_{N.G} \frac{S_d}{S_{N.G}}$															
3.3	变压器的电抗标么值	$X_{d.T} = X_{N.T} \frac{S_d}{S_{N.T}} \approx \frac{u_k \% U_d^2}{100 S_{N.T}}$															
3.4	线路的电抗标么值	$X_{d.wl} = X_{wl} \frac{S_d}{U_d^2} = X_d \frac{S_d}{U_d^2}$ <p>式中, X 可利用导线截面和线间几何均距(参看表 ZY2-18 序号 1.2) 查有关手册, 在线路结构数据不详时, 可采用下表所示电抗平均值</p> <p style="text-align: center;">表 线路每相的单位长度电抗平均值</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">线路结构</th> <th colspan="3">$X_e / (\Omega \cdot \text{km}^{-1})$</th> </tr> <tr> <th>380~660V</th> <th>6~10kV</th> <th>35kV 及以上</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>架空线路</td> <td>0.32</td> <td>0.35</td> <td>0.40</td> </tr> <tr> <td>电缆线路</td> <td>0.066</td> <td>0.08</td> <td>0.12</td> </tr> </tbody> </table>	线路结构	$X_e / (\Omega \cdot \text{km}^{-1})$			380~660V	6~10kV	35kV 及以上	架空线路	0.32	0.35	0.40	电缆线路	0.066	0.08	0.12
线路结构	$X_e / (\Omega \cdot \text{km}^{-1})$																
	380~660V	6~10kV	35kV 及以上														
架空线路	0.32	0.35	0.40														
电缆线路	0.066	0.08	0.12														
4	按标么值计算短路的步骤																
4.1	绘制计算电路图	<p>例: 某短路回路的计算电路如下图所示</p>  <p>在计算电路图上, 标出短路计算所需的各元件的技术数据, 并依次编以序号。短路计算点的选择, 应使被选择校验的元件有最大可能的短路电流通过</p>															
4.2	确定基准值	<p>① 设定基准容量(参看本表序号 1.1)</p> <p>② 设定基准电压(参看本表序号 1.2)</p> <p>③ 计算短路计算点的基准电流(参看本表序号 1.3)</p> $I_d = \frac{S_d}{\sqrt{3} U_d}$ <p>式中, U_d 为短路计算点的计算电压</p>															

(续)

序号	项目	说明	
4.3	计算短路回路中各主要元件的电抗标么值	(参看本表序号3)	
4.4	根据短路计算电路绘制等效电路图	<p>在等效电路图上,用阻抗符号来表示各个元件,并在每一元件符号上面用分式标出其序号(分子)和阻抗值(分母),如下图所示</p> 	
4.5	化简电路,计算短路回路的总电抗标么值	<p>上述等效电路的总电抗标么值为</p> $X_{\Sigma} = X_1 + X_2 + X_3 \parallel X_4 = X_1 + X_2 + \frac{X_3 X_4}{X_3 + X_4}$	
4.6	计算三相短路电流及短路容量	短路电流 /kA	
		I_k	$I_k = \frac{I_d}{X_{\Sigma}}$
		I''	在无限容量系统中, $I'' = I_k$ 在有限容量系统中,参看表 ZY3-4
		I_{∞}	在无限容量系统中, $I_{\infty} = I_k$ 在有限容量系统中,参看表 ZY3-4
		i_{sh}	参看表 ZY3-3 序号 3 及表 ZY3-4 序号 4
	I_{sh}	参看表 ZY3-3 序号 4 及表 ZY3-4 序号 4	
	短路容量 (MV·A)	$S_k = \frac{S_d}{X_{\Sigma}}$	
5	多电源复杂电路的短路计算(示例)		
5.1	示例	<p>例:某 10kV 系统如图所示,已知发电机 G1 和 G2: $X_{G1} = X_{G2} = 0.2$; 发电机 G3: $X_{G3} = 0.16$; 发电机 G4: $X_{G4} = 0.05$; 线路 WL1: $X_{WL1} = 0.4$; 线路 WL2: $X_{WL2} = 0.5$; 线路 WL3: $X_{WL3} = 0.1$; 线路 WL4: $X_{WL4} = 0.05$; 基准容量</p>  <p>取 $S_d = 100 \text{ MV} \cdot \text{A}$, 基准电压取 $U_c = 1.05 U_N = 10.5 \text{ kV}$. 试求 k 点发生三相短路时的短路电流</p>	

(续)

序号	项目	说明
5.2	电源的合并	<p>将符合下列条件之一的发电机分别合并成一个等效电源： ①型式相同且至短路点的电气距离基本相等的发电机 ②到短路点的电气距离较远的发电机 ③直接接在短路点或很靠近短路点的同类型发电机 凡不符合上列条件的电源，均应单独计算</p>  <p>按上述规定，可将 G1 与 G2 合并，合并后的等效电抗为 $X_{G1,2} = 0.2/2 = 0.1$ 合并后的等效电路如图所示</p>
5.3	电路变换 ($\Delta \rightarrow Y$)	 $X_{ab}^* = \frac{0.4 \times 0.5}{0.4 + 0.5 + 0.1} = 0.20$ $X_{bc}^* = \frac{0.4 \times 0.1}{0.4 + 0.5 + 0.1} = 0.04$ $X_{ca}^* = \frac{0.1 \times 0.5}{0.4 + 0.5 + 0.1} = 0.05$ <p>变换后的等效电路如图所示</p>
5.4	电路简化，求总电抗	<p>短路点 k 左边的总电抗为</p> $X_{\Sigma 1} = \frac{(0.1 + 0.2) \times (0.04 + 0.16)}{(0.1 + 0.2) + (0.04 + 0.16)} + 0.05 + 0.05 = 0.22$ <p>而短路点 k 右边的电抗为 $X_{G4} = 0.22$ 如认为各电源的电压标幺值均为 1，则 k 点左右两边电抗并联后的总等效电抗为</p> $X_{\Sigma} = X_{\Sigma 1} \parallel X_{G4} = 0.22 \parallel 0.22 = \frac{0.22}{2} = 0.11$
5.5	求短路电流	$I_k = \frac{I_d}{X_{\Sigma}} = \frac{S_d}{\sqrt{3} U_c X_{\Sigma}} = \frac{100}{\sqrt{3} \times 10.5 \times 0.11} \text{ kA}$ $= 50 \text{ kA}$

4. 利用欧姆法进行三相短路计算 如表 ZY3-6 所示。

表 ZY3-6 利用欧姆法进行三相短路计算

序号	项目	说明
1	欧姆法计算短路的特点及适用范围	
1.1	计算特点	<p>①所有物理量均采用有名单位,如阻抗采用欧姆(Ω)单位,电压采用千伏(kV)单位等等</p> <p>②可直接运用欧姆定律公式计算短路电流,无须换算</p> <p>③短路回路的阻抗计算值,与短路计算点的电压级有关。所有元件的阻抗,均应换算到短路计算点电压,才能求其总阻抗,因此计算比较繁复</p> <p>④采用有名单位,不便制成通用的短路运算曲线,因此限制了其在工程计算中的应用</p>
1.2	适用范围	主要用于无限大容量电力系统中低压电网的短路计算
2	短路回路中主要元件的阻抗值计算 ^①	
2.1	电力系统的电抗	<p>电力系统的电阻远小于电抗,因此只计电抗</p> $X_s = \frac{U_c^2}{S_\infty}$ <p>式中,U_c为电力系统出口母线的短路计算电压。但为了计算短路回路的总阻抗,应直接代以短路计算点的计算电压,以免再进行电压换算;S_∞为电力系统出口断路器的断流容量,实质上就是将它视为电力系统的短路容量</p>
2.2	电力变压器的阻抗	<p>①变压器的电阻为</p> $R_T \approx \Delta P_s \left(\frac{U_c}{S_N} \right)^2$ <p>式中,ΔP_s为变压器的短路损耗,可查有关产品样本或手册;S_N为变压器的额定容量;U_c应采用短路计算点的计算电压</p> <p>②变压器的电抗为</p> $X_T \approx \frac{u_s \% U_c^2}{100 S_N}$ <p>式中,$u_s \%$为变压器的短路电压(即阻抗电压)百分值,可查有关产品样本或手册;S_N为变压器的额定容量;U_c应采用短路计算点的计算电压</p>
2.3	电力线路的阻抗	<p>①线路的电阻为</p> $R_{WL} = R_0 l$ <p>式中,R_0为线路每相单位长度电阻;l为线路长度</p> <p>如果线路所在计算电压为U_c,而短路计算点的计算电压为U'_c,则</p> $R'_{WL} = R_{WL} \left(\frac{U'_c}{U_c} \right)^2$ <p>②线路的电抗为</p> $X_{WL} = X_0 l$ <p>式中,X_0为线路每相单位长度电抗;l为线路长度</p> <p>如果线路所在计算电压为U_c,而短路计算点的计算电压为U'_c,则</p> $X'_{WL} = X_{WL} \left(\frac{U'_c}{U_c} \right)^2$
3	按欧姆法计算短路的步骤	

(续)

序号	项目	说明																				
3.1	绘制计算电路图	(参看表 ZY3-5 序号 4.1 中的图)																				
3.2	计算短路回路中各元件的阻抗值 ^①	(参看本表序号 2)																				
3.3	绘制等效电路图	<p>由于按欧姆法计算时,短路计算点不同,同一元件的阻抗值也不同,因此不同的短路计算点应有不同的等效电路,如下面图 a 和图 b 所示(其计算电路均为表 ZY3-5 序号 4.1 的电路图)。而标么值,如前所述(参看表 ZY3-5 序号 4.4),无论几个短路计算点,均只绘制一个等效电路</p>																				
3.4	求短路回路总阻抗	对各个短路计算点计算其短路回路总阻抗。如果 $R_z \leq X_z/3$ 时,则可只计电抗,不计电阻																				
3.5	计算三相短路电流和短路容量	$I_k = \frac{U_c}{\sqrt{3} Z_z } = \frac{U_c}{\sqrt{3} \sqrt{R_z^2 + X_z^2}}$ <p>I''、I_∞、i_{sh}、I_d 及 S_k 等参看前面表 ZY3-4 或表 ZY3-5</p>																				
4	对大型交流电动机反馈冲击电流的计算																					
4.1	计算条件	<p>①当短路点附近所接电动机额定电流之和超过短路电流的 1% 时,应计入电动机反馈电流的影响(据 GB50054—95)</p> <p>②只计算短路冲击电流时才予考虑</p> <p>③如果电动机至短路点之间相隔一个变压器及计算不对称短路时可不考虑</p>																				
4.2	计算公式	<p>交流电动机反馈冲击电流:</p> $i_{d.M} = \sqrt{2} \frac{E_M'}{X_M'} K_{d.M} I_{N.M} = CK_{d.M} I_{N.M}$ <p>式中, E_M' 为电动机次暂态电动势标么值(见表); X_M' 为电动机次暂态电抗标么值(见附表); C 为电动机反馈冲击倍数(见表); $K_{d.M}$ 为电动机短路电流冲击系数,对 3~10kV 电动机,可取 1.4~1.7,对 380V 电动机,可取 1; $I_{N.M}$ 为电动机额定电流</p> <p>附表 电动机的 E_M'、X_M' 和 C</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>电动机类型</th> <th>E_M'</th> <th>X_M'</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>感应电动机</td> <td>0.9</td> <td>0.2</td> <td>6.5</td> </tr> <tr> <td>同步电动机</td> <td>1.1</td> <td>0.2</td> <td>7.8</td> </tr> <tr> <td>同步补偿机</td> <td>1.2</td> <td>0.16</td> <td>10.5</td> </tr> <tr> <td>综合性负荷</td> <td>0.8</td> <td>0.35</td> <td>3.2</td> </tr> </tbody> </table>	电动机类型	E_M'	X_M'	C	感应电动机	0.9	0.2	6.5	同步电动机	1.1	0.2	7.8	同步补偿机	1.2	0.16	10.5	综合性负荷	0.8	0.35	3.2
电动机类型	E_M'	X_M'	C																			
感应电动机	0.9	0.2	6.5																			
同步电动机	1.1	0.2	7.8																			
同步补偿机	1.2	0.16	10.5																			
综合性负荷	0.8	0.35	3.2																			

注:① 低压电网短路时,10~15m 及以上的母线、电缆,多匝的电流互感器一次绕组,低压断路器过流脱扣线圈及低压刀开关和断路器的触头等的阻抗,对短路电流也有一定的影响,因此有时在短路计算中要求计入。但一般可不考虑,这将使所计算的短路电流值略为偏大。

(四)电力系统不对称短路的分析计算

1. 电力系统中主要元件的正序、负序和零序电抗 如表 ZY3-7 所示。

表 ZY3-7 电力系统中主要元件的正序、负序和零序电抗

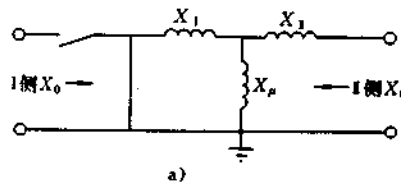
序号	项目		正序电抗	负序电抗	零序电抗	
1	含义说明		为元件通过三相正序电流时所呈现的电抗值,也就是前面计算对称(三相)短路时所采用的电抗值 X ,即 $X_1 = X$	为元件通过负序电流时所呈现的电抗值,对静止元件,如变压器和线路,由于其电感和互感与通过电流的相序无关,因此 $X_2 = X_1$ 。而对旋转电机,由于负序电流产生的旋转磁场方向与正序电流产生的旋转磁场方向相反,也与转子转向相反,两者的磁路也有差异,因此 $X_2 \neq X_1$	为元件通过零序电流时所呈现的电抗值。如果元件中无零序电流通过,则其 $X_0 = \infty$ 。例如变压器联结成三角形或中性点不接地的星形的一侧线路上无零序电流,因此从变压器 Δ 联结或 Y 联结一侧看去,其零序电抗 $X_0 = \infty$ 。除没有互感关系的静止元件 $X_0 = X_1$ 外,一般 $X_0 \neq X_1$	
2	同步电机	汽轮发电机	$X_1' \approx 0.125$	$X_2' \approx 0.16$	$X_0' \approx 0.06$	
		水轮发电机 (有阻尼绕组)	$X_1' \approx 0.20$	$X_2' \approx 0.25$	$X_0' \approx 0.07$	
		水轮发电机 (无阻尼绕组)	$X_1' \approx 0.27$	$X_2' \approx 0.45$	$X_0' \approx 0.07$	
		大型同步电动机	$X_1' \approx 0.20$	$X_2' \approx 0.24$	$X_0' \approx 0.08$	
3	架空线路	无避雷线	单回路	$X_1 = X_{WL}$	$X_2 = X_1$	$X_0 \approx 3.5X_1$
			双回路			$X_0 \approx 5.5X_1$
		有避雷线	单回路	$X_1 = X_{WL}$	$X_2 = X_1$	$X_0 \approx 3X_1$
			双回路			$X_0 \approx 5X_1$
4	电缆线路	低压	$X_1 = X_{WL}$	$X_2 = X_1$	$X_0 \approx 2.6X_1$	
		高压			$X_0 \approx 3.5X_1$	
5	电力变压器	$D, yn (\Delta/Y_0)$	$X_1 = X_T$	$X_2 = X_1$	参看备注 中图 a $X_0 = \infty$ $X_0 = X_1 + X_1 \parallel X_\mu$ $\approx X_1 + X_1 = X_1$ $(X_\mu \gg X_1)$	

(续)

序号	项目		正序电抗	负序电抗	零序电抗
5	电力变压器	Y,yn (Y/Y ₀)	$X_1 = X_T$	$X_2 = X_1$	参看备注 中图 b
		I 侧			$X_0 = \infty$
	Y,d (Y/Δ)	$X_1 = X_T$	$X_2 = X_1$	参看备注 中图 c	$X_0 = X_1 + X_\mu \approx X_\mu$ ($X_\mu \gg X_1$)
				I 侧	$X_0 = \infty$

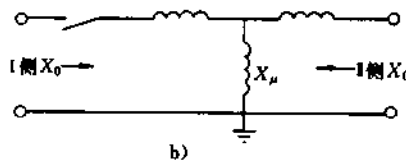
电力变压器的零序等效电路(图中 X_1 和 X_2 分别为变压器一次绕组和二次绕组电抗, X_μ 为励磁电抗):

① D,yn(Δ/Y₀)联结变压器



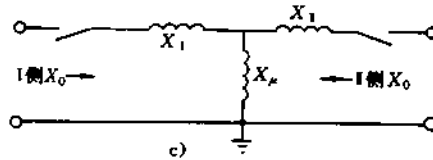
备

② Y,yn(Y/Y₀)联结变压器



注

③ Y,d(Y/Δ)联结变压器

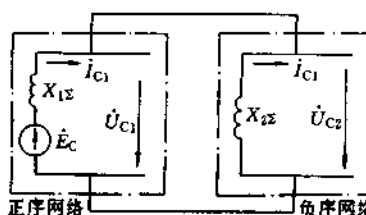


2. 两相短路的分析计算 如表 ZY3-8 所示。

表 ZY3-8 两相短路的分析计算

序号	项目	说明
1	两相短路电路图	
2	两相短路电路条件	$i_A = -i_B$ $i_C = 0 \text{ (不计负荷电流)}$ $\dot{U}_A = \dot{U}_B$

(续)

序号	项目	说明
3	两相短路的复合序网图	<p>根据对称分量法(参看表 JC6-10 序号 5)得</p> $\dot{i}_{A0} = \frac{1}{3}(\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C)$ <p>又由序号 2 电路条件(参看序号 1 图 a)知: $\dot{I}_A = -\dot{I}_B, \dot{I}_C = 0$, 因此各相零序电流:</p> $\dot{i}_{A0} = \dot{i}_{B0} = \dot{i}_{C0} = 0 \quad (1)$ <p>即说明两相短路电路不含零序电流</p> <p>由 $\dot{I}_C = \dot{I}_{C1} + \dot{I}_{C2} + \dot{I}_{C0} = 0$ 及 $\dot{I}_{C0} = 0$ 得</p> $\dot{i}_{C1} = -\dot{i}_{C2} \quad (2)$ <p>又因 $\dot{U}_A = \dot{U}_B$, 因此 \dot{U}_C 的正、负序分量为</p> $\begin{aligned} \dot{U}_{C1} &= \frac{1}{3}(\dot{U}_C + a\dot{U}_A + a^2\dot{U}_B) \\ &= \frac{1}{3}[\dot{U}_C + (a+a^2)\dot{U}_A] \\ \dot{U}_{C2} &= \frac{1}{3}(\dot{U}_C + a^2\dot{U}_A + a\dot{U}_B) \\ &= \frac{1}{3}[\dot{U}_C + (a+a^2)\dot{U}_A] \end{aligned}$  <p>式中 a 为单位相量算子(参看 JC6-10 序号 1)</p> <p>因此 $\dot{U}_{C1} = \dot{U}_{C2} \quad (3)$</p> <p>根据式(1)、(2)、(3)可绘出两相短路的复合序网图如上图所示。图中无零序网络。\dot{E}_C 为电源 C 相电动势</p>
4	两相短路电流的计算	<p>根据序号 3 图所示序网图可得</p> $\dot{i}_{C1} = \frac{\dot{E}_C}{j(X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma})}$ <p>因此故障点的两相短路电流为</p> $\begin{aligned} \dot{I}_A &= \dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A2} + \dot{I}_{A0} \\ &= a^2 \dot{i}_{C1} + a \dot{i}_{C2} + \dot{i}_{C0} \\ &= a^2 \dot{i}_{C1} - a \dot{i}_{C1} = (a^2 - a) \dot{i}_{C1} \\ &= -j\sqrt{3} \dot{i}_{C1} = \frac{-\sqrt{3} \dot{E}_C}{X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma}} \\ \dot{I}_B &= -\dot{I}_A = \frac{\sqrt{3} \dot{E}_C}{X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma}} \end{aligned}$ <p>在无限大容量系统中(即远离电源处)发生两相短路时,可认为 $X_{1\Sigma} \approx X_{2\Sigma}$, 因此</p> $I^{(2)} = \frac{\sqrt{3} E_F}{2 X_{1\Sigma}} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_1^{(3)} = 0.866 I_1^{(3)}$ <p>在靠近发电机端发生两相短路时,</p> $I^{(2)} \approx 1.5 I_1^{(3)}$ <p>两相短路冲击电流及其有效值分别为</p> $\begin{aligned} i_{sh}^{(2)} &= 0.866 i_{sh}^{(3)} \\ I_{sh}^{(2)} &= 0.866 I_{sh}^{(3)} \end{aligned}$

3. 单相短路的分析计算 如表 ZY3-9 所示。

表 ZY3-9 单相短路的分析计算

序号	项 目	说 明
1	单相短路电路图	
2	单相短路电路条件	$\dot{U}_A = 0$ $\dot{i}_B = 0$ $\dot{i}_C = 0$
3	单相短路的复合序网图	<p>根据对称分量法(参看表 JC6-10 序号 5)及电路条件得</p> $\dot{i}_{A1} = \frac{1}{3}(\dot{i}_A + a\dot{i}_B + a^2\dot{i}_C) = \frac{1}{3}\dot{i}_A \quad (1)$ $\dot{i}_{A2} = \frac{1}{3}(\dot{i}_A + a^2\dot{i}_B + a\dot{i}_C) = \frac{1}{3}\dot{i}_A \quad (2)$ $\dot{i}_{A0} = \frac{1}{3}(\dot{i}_A + a\dot{i}_B + a^2\dot{i}_C) = \frac{1}{3}\dot{i}_A \quad (3)$ $\dot{U}_A = \dot{U}_{A1} + \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0} = 0 \quad (4)$ <p>根据式(1)~(4)可绘出单相短路的复合序网图如图所示。E_A 为电源 A 相电动势</p>
4	高压电网单相短路电流的计算	<p>根据本表序号 3 图所示序网图可得</p> $\dot{i}_{A1} = \dot{i}_{A2} = \dot{i}_{A0} = \frac{\dot{E}_A}{j(X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})}$ <p>代入式(1)~(3)得</p>

(续)

序号	项 目	说 明
4	高压电网单相短路电流的计算	$\dot{I}_A = 3\dot{I}_{A1} = \frac{3\dot{E}_A}{j(X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma})}$ <p>即</p> $I_k^{(1)} = 3I_{A1} = \frac{3E_\varphi}{X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}$ <p>式中, E_φ 为发电机的相电动势 在无限大容量系统中(即远离电源处)发生单相短路时,可认为 $X_{1\Sigma} \approx X_{2\Sigma}$, 因此</p> $I_k^{(1)} = \frac{3E_\varphi}{2X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma}} = \frac{3U_{c(\varphi)}}{2X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma}}$ <p>式中 $U_{c(\varphi)}$ 为短路计算相电压 由于三相短路时 $I_k^{(3)} = U_{c(\varphi)} / X_{1\Sigma}$, 故</p> $\frac{I_k^{(1)}}{I_k^{(3)}} = \frac{3}{2 + \frac{X_{0\Sigma}}{X_{1\Sigma}}}$ <p>在无限大容量系统中发生单相短路时,由于 $X_{0\Sigma} > X_{1\Sigma}$, 故 $I_k^{(1)} < I_k^{(3)}$ 在靠近发电机端发生单相短路时,由于 $X_{0\Sigma} < X_{1\Sigma}$, 故 $I_k^{(1)} > I_k^{(3)}$</p>
5	低压电网单相短路电流的计算	<p>计算低压电网中的单相短路时,与计算其三相短路一样,一般应计及电阻,因此</p> $I_k^{(1)} = \frac{U_{c(\varphi)}}{|Z_{\Sigma(\varphi)}|} = \frac{U_{c(\varphi)}}{\sqrt{R_{\Sigma(\varphi)}^2 + X_{\Sigma(\varphi)}^2}}$ <p>式中, $|Z_{\Sigma(\varphi)}|$ 为单相短路回路的总计算阻抗[模]; $R_{\Sigma(\varphi)}$ 和 $X_{\Sigma(\varphi)}$ 为单相短路回路的总计算电阻和电抗,包括变压器和线路(含相线、N线、PE线和PEN线等)的阻抗</p> $R_{\Sigma\varphi} = \frac{R_{1\Sigma} + R_{2\Sigma} + R_{0(\varphi)\Sigma} + 3R_{0(N)\Sigma}}{3}$ $X_{\Sigma\varphi} = \frac{X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma} + X_{0(\varphi)\Sigma} + 3X_{0(N)\Sigma}}{3}$ <p>式中, $R_{1\Sigma}$、$X_{1\Sigma}$ 为单相短路回路的总正序电阻、电抗; $R_{2\Sigma}$、$X_{2\Sigma}$ 为其总负序电阻、电抗; $R_{0(\varphi)\Sigma}$、$X_{0(\varphi)\Sigma}$ 为其相线总零序电阻、电抗; $R_{0(N)\Sigma}$、$X_{0(N)\Sigma}$ 为其N线、PE线或PEN线的总零序电阻、电抗</p>

(五)短路电流的电动效应和热效应

1. 短路电流的电动效应 如表 ZY3-10 所示。

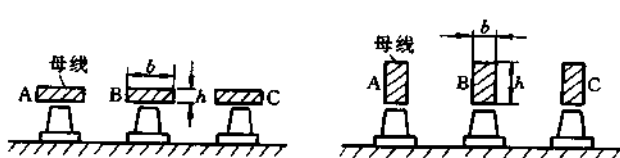
表 ZY3-10 短路电流的电动效应

序号	项 目	说 明
1	两相短路产生的电动力	<p>由表 JC6-23 可知,两平行载流导体间的相互作用力 $F(N)$ 为</p> $F = 2I^2 \frac{l}{a} \times 10^{-7}$ <p>式中, I 的单位为 A, a 和 l 的单位同为 mm 或 m 当电路发生两相短路时,两相短路冲击电流 $i_k^{(2)}$ (A) 将在两短路相导体间产生最大的电动力 $F^{(2)}$ (N), 即</p> $F^{(2)} = 2(i_k^{(2)})^2 \frac{l}{a} \times 10^{-7}$ <p>式中, l 为导体的档距,即导体中相邻的固定支持点之间的距离,对开关柜上母线来说, l 就是开关柜宽度(m); a 为短路两相导体轴线之间的距离(m)</p>

200

电气工程手册

(续)

序号	项目	说明
2	三相短路产生的电动力	<p>三相短路时,可以证明中间相所受的电动力最大,即</p> $F^{(3)} = \sqrt{3} i_{sk}^{(3)2} \frac{l}{a} \times 10^{-7}$ <p>式中, $i_{sk}^{(3)}$ 为三相短路冲击电流(A),需计入大容量交流电动机反馈冲击电流(参看表 ZY3-6 序号 4); F 以 N 为单位</p> <p>在无限大容量系统中(即远离电源处)短路时, $i_{sk}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} i_{sk}^{(2)}$ (参看表 ZY3-8 序号 4),因此三相短路的最大电动力与两相短路的最大电动力之比为</p> $\frac{F^{(3)}}{F^{(2)}} = \frac{\sqrt{3} i_{sk}^{(3)2} \frac{l}{a} \times 10^{-7}}{2 i_{sk}^{(2)2} \frac{l}{a} \times 10^{-7}} = \frac{\sqrt{3} i_{sk}^{(3)2}}{2 \left(\frac{\sqrt{3}}{2} i_{sk}^{(2)} \right)^2}$ $= \frac{2}{\sqrt{3}} = 1.15$ <p>即 $F^{(3)} = \frac{2}{\sqrt{3}} F^{(2)} = 1.15 F^{(2)}$</p> <p>由此可见,在一般电网中(除靠近电源短路外),三相短路产生的电动力比两相短路产生电动力大,因此一般以三相短路而且是以三相短路冲击电流来计算和校验电器和导体的动稳定度</p>
3	硬母线在短路时产生的应力	<p>按三相系统中中间相母线通过三相短路冲击电流 $i_{sk}^{(3)}$ 来计算母线承受的最大应力(计算应力)为</p> $\sigma_c = \frac{M}{W}$ <p>式中, M 为母线通过 $i_{sk}^{(3)}$ 时所受到的弯曲力矩(N·m)。当母线的档数为 1~2 时, $M = F^{(3)}l/8$; 当母线的档数大于 2 时, $M = F^{(3)}l/10$。这里 $F^{(3)}$ 按序号 2 所列公式计算; W 为母线的截面系数(m³),当母线水平放置时(参看下图), $W = \frac{b^2h}{6}$, 此处 b 为母线截面的水平宽度, h 为母线截面的垂直高度, b 和 h 的单位均为米(m)</p> 

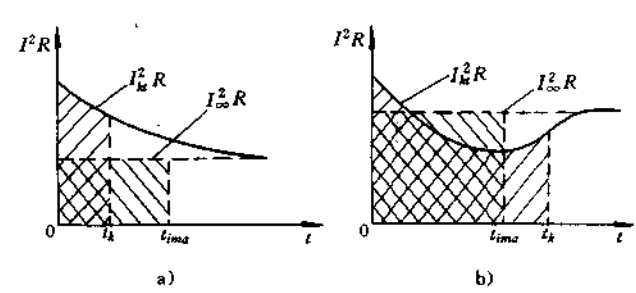
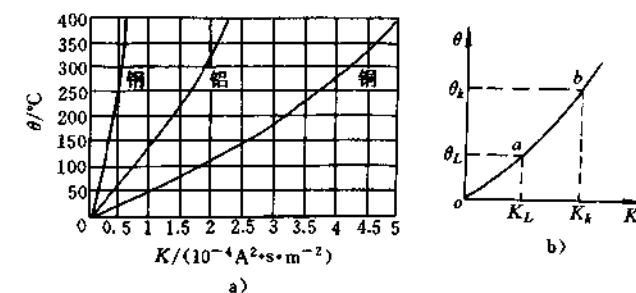
① 此式适用于圆截面的实芯和空芯导体,也适用于导体间的净空距离大于导体截面周长的矩形截面导体,因此对于每相只有一片矩形截面导体的三相线路是适用的。如每相有两片及以上矩形截面导体时,则应乘以“形状系数”(见文献[2,3,4])。

2. 短路电流的热效应 如表 ZY3-11 所示。

表 ZY3-11 短路电流的热效应

序号	项目	说明
1	短路过程中导体的发热和散热特点	<p>① 导体在短路时由于有极大的短路电流通过而使其温度急剧升高。电路中的短路保护装置随即动作,迅速切除短路,因此短路时间很短,可不考虑导体的散热,即可认为短路时导体是在绝热状态下发热升温的</p> <p>② 短路被切除后,导体不再发热,而只向周围介质散热,直到导体温度与周围介质温度相等时为止</p>

(续)

序号	项 目	说 明
2	短路的发热计算与假想时间的确定	<p>由于实际短路电流 i_k 是一个幅值变动并含有非周期分量的电流,要按此电流来计算其产生的热量是相当困难的,因此通常采用其恒定的短路稳态电流 I_∞ 来等效计算实际短路电流所产生的热量,并假定一个“假想时间”(或称“热效时间”),在此时间内导体通过 I_∞ 产生的热量恰与实际短路电流 i_k 在实际短路时间 t_k 内产生的热量相等,如图所示。图 a 为无限大容量系统和不带自动电压调整装置的发电机供电时的短路发热曲线和假想时间,图 b 为带自动电压调整装置的发电机供电时的短路发热曲线和假想时间</p>  <p>假想时间按下式确定:</p> $t_{ima} = t_k + 0.05 \left(\frac{I_k}{I_\infty} \right)^2$ <p>在无限大容量系统中:</p> $t_{ima} = t_k + 0.05(\text{s})$ <p>当 $t_k > 1\text{s}$ 时,可认为 $t_{ima} = t_k$</p> <p>短路时间 t_k 为短路保护装置实际最长的动作时间 t_{op} 与断路器的断路时间 t_{oc} 之和,即</p> $t_k = t_{op} + t_{oc}$ <p>式中, t_{oc} 又为断路器的固有分闸时间与其燃弧延续时间之和。对一般高压断路器(如油断路器),可取 $t_{oc} = 0.2\text{s}$;对高速断路器(如真空断路器),可取 $t_{oc} = 0.1 \sim 0.15\text{s}$。对低压断路器,其燃弧延续时间可取 $0.01 \sim 0.02\text{s}$,再加上其固有分闸时间(查文献[5]或产品样本),即得其 t_{oc}</p>
3	短路最高温度的确定	<p>在工程设计中,一般是利用图 a 所示曲线来近似地确定 θ_k。该曲线的横坐标用导体加热系数 K 来表示,纵坐标表示导体温度 θ。由导体正常负荷温度 θ_L 查短路最高温度 θ_k 的步骤如下(参看图 b):</p> 

(续)

序号	项 目	说 明
3	短路最高温度的确定	<p>①先从纵坐标上找出导体在正常负荷时的温度 θ_L 值;如果实际温度不知,可用导体的正常最高允许温度(参看表 ZY4-10)</p> <p>②由 θ_L 向右查得相应曲线上的 a 点,并由 a 点向下查得横坐标轴上的 K_L</p> <p>③用下式计算:</p> $K_s = K_L + \left(\frac{I_{\infty}}{A} \right)^2 t_{ima}$ <p>式中, A 为导体截面积(mm^2); I_{∞} 为三相短路稳态电流(A); t_{ima} 为短路发热假想时间(s); K_L 和 K_s 的单位均为 $\text{A}^2 \cdot \text{s}/\text{mm}^2$</p> <p>④从横坐标轴上找出 K_s,再由 K_s 向上查得相应曲线上的 b 点,并由 b 点向左查得纵坐标轴上的短路最高温度 θ_s 值</p>

主要参考文献

- 1 刘介才编. 工厂供电 (第2版). 北京: 机械工业出版社, 1991
- 2 刘从爱、徐中立主编. 电力工程. 北京: 机械工业出版社, 1992
- 3 苏文成主编. 工厂供电 (第2版). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 4 中国航空工业规划设计研究院等编. 工业与民用配电设计手册 (第二版). 北京: 水利电力出版社, 1994
- 5 刘介才主编. 工厂供电简明设计手册. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 6 贺天枢、赵叔玉主编译. IEC 电工电子标准术语词典. 北京: 中国标准出版社, 1992
- 7 国家标准 GB50054—95 低压配电设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1996
- 8 国家标准 GB50060—92 3~110kV 高压配电装置设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1993

四、供电系统的主要设备及其选择 (ZY4)

(一) 有关设备及其选择的名词术语

有关供电系统主要设备及其选择的名词术语, 如表 ZY4-1 所示。

表 ZY4-1 有关设备及其选择的名词术语

序号	名词术语	含义说明
1	主变压器 main transformer	指变电所主电路中的电力变压器。习惯上简称“主变”
2	变压器出力 output capacity of a transformer	指变压器的输出能力。变压器出力决定于变压器的额定容量(铭牌功率)。但由于变压器安装地点的环境温度可能与其规定使用的环境温度条件不同, 因此变压器的出力(实际容量)与额定容量可有一定出入。按 GB1094—96《电力变压器》规定, 变压器正常使用的环境温度条件为: 最高气温为+40℃, 最高日平均气温为+30℃, 最高年平均气温为+20℃(详见表 JC11-13 序号 5)。如果安装地点的年平均气温 $t_{a, \text{年}} \neq 20^\circ\text{C}$, 则每升高 1℃, 变压器的容量应减少 1%。因此变压器出力(实际容量)应计入温度校正系数 K_t 。详细计算参看表 ZY4-2 序号 1
3	变压器正常过负荷 normal over-load of a transformer	指变压器在维持其规定的使用年限条件下, 由于其负荷的变动, 使变压器有相当一部分时间在低于变压器额定容量的欠负荷下运行, 因此允许在另一部分时间运行时适当超过变压器额定容量, 即过负荷运行。按规定, 户内变压器, 允许的正常过负荷不得超过 20%; 户外变压器, 允许的正常过负荷不得超过 30%。这一规定, 还为事故过负荷留有一定裕量
4	变压器事故过负荷 accident over-load of a transformer	指变压器在事故情况下运行时(例如由于故障而使并列运行的两台变压器切除一台时), 允许短时间的更大幅度的过负荷(参看表 ZY4-2 序号 3)
5	限流熔断器 current-limiting fuse	指在规定电流范围内动作, 能将电流限制到低于预期峰值电流(通常指短路冲击电流)的一种熔断器。采用了这种熔断器的电流设备及熔断器本身不必考虑预期峰值电流(短路冲击电流)的影响
6	跌落式熔断器 drop-open fuse	指熔断器动作后, 其熔断管能自动跌开到具有所要求的安全隔离距离的位置上的一种熔断器, 又称“跌落式熔断器”
7	熔件的冶金效应 metallurgical effect of fuse element	指在熔断器的铜熔件上焊小锡球, 使其通过过负荷和小短路电流时, 锡球首先加热熔化, 包围铜熔丝, 使铜锡的分子相互渗透而形成熔点较铜的熔点低的铜锡合金, 从而使熔件能在过负荷和较小的短路电流下动作的一种效应。这种冶金效应提高了熔断器对过负荷和短路的保护灵敏度
8	隔离器 disconnecter	泛指断开后能使电路中出现明显可见的断开间隙、能隔离带电部分保障安全检修的一种机械式开关电器, 包括隔离开关和隔离插头等

(续)

序号	名词术语	含义说明
9	熔断器式刀开关 fuse-switch	指以熔断体作为刀形动触头的一种刀开关, 亦称“刀熔开关”
10	灭弧装置 arc control device	指装在机械式开关电器的弧触头周围, 用来限制电弧且有助于电弧加速熄灭的一种装置
11	灭弧室, 灭弧栅 arc chute	指将电弧转移进去以促其加速熄灭的一种小室
12	成套配电设备的“五防”要求 five prevention for a complete distributing set	指为确保电气安全而对成套配电设备结构设计上的五条要求: ①防止误跳、误合断路器; ②防止带负荷拉、合隔离开关; ③防止带电挂接地线; ④防止带接地线合隔离开关; ⑤防止人员误入带电间隔。这类设备称为“五防型”设备
13	电气设备的选择条件 choice conditions of electric equipment	指电气设备满足正常工作要求时的标称参数和环境条件的选择条件。开关电器的标称参数包括额定电压、额定电流、断流能力等; 环境条件包括设备安装地点(户内还是户外)、环境温度、海拔高度以及有无防尘、防水、防火、防爆等要求
14	电气设备的校验条件 inspecting conditions of electric equipment	指电气设备在其按正常工作的标称参数和环境条件选择之后, 再按非正常工作条件主要是短路故障情况下工作的动稳定性和热稳定性等所进行的校验
15	动稳定电流 electrodynamical stable current	指电气设备满足动稳定性要求的峰值电流, 又称“极限通过电流峰值”
16	动稳定倍数 electrodynamical stable multiple	指动稳定电流峰值与设备额定电流峰值的比值, 主要见于部分电流互感器的产品数据中
17	热稳定电流 thermal stable current	指电气设备满足热稳定性要求的电流有效值。热稳定电流与热稳定时间(通过热稳定电流的时间)有关
18	热稳定倍数 thermal stable multiple	指热稳定电流与设备额定电流的比值, 主要见于部分电流互感器的产品数据中

(二) 主变压器及其选择

1. 变压器的实际容量和过负荷能力 如表 ZY4-2 所示。

表 ZY4-2 变压器的实际容量和过负荷能力

序号	项 目	说 明
1	变压器实际容量(出力)的计算	
1.1	户外变压器的容量计算	<p>设变压器安装地点的年平均气温 $\theta_{0.av} \neq 20^\circ\text{C}$, 则 $\theta_{0.av}$ 每升高 1°C, 变压器出力应减少 1%, 因此变压器的实际出力为</p> $S_T = K_\theta S_{N.T} = \left(1 - \frac{\theta_{0.av} - 20}{100}\right) S_{N.T}$ <p>式中, $S_{N.T}$ 为变压器额定容量; K_θ 为户外变压器容量的温度校正系数</p>
1.2	户内变压器的容量计算	<p>户内变压器由于散热条件较户外变压器差, 一般变压器室出风口与进风口间有大约 15°C 的温差, 从而使处在变压器室中间的变压器环境温度较之户外温度大约高出 8°C, 因此户内变压器的实际出力要比同地的户外变压器实际出力又减少 8%, 即变压器的实际出力为</p> $S_T = K'_\theta S_{N.T} = \left(0.92 - \frac{\theta_{0.av} - 20}{100}\right) S_{N.T}$ <p>式中, K'_θ 为户内变压器容量的温度校正系数</p>

(续)

序号	项 目	说 明												
2	变压器的正常过负荷能力													
2.1	由于昼夜负荷不均匀而考虑的过负荷	<p>根据日负荷率 β 和最大负荷持续时间 t 去查如右图所示曲线, 得其允许过负荷系数 $K_{OL(1)}$</p>												
2.2	由于季节性欠负荷而考虑的过负荷	<p>设在一年中某季节(例如夏季)变压器处于欠负荷运行, 则该季节的最大负荷 S_{30} 低于变压器容量 $S_{N \cdot T}$ 时, 每低 1%, 可在另一季节(例如冬季)过负荷 1%, 但此项过负荷不得超过 15%, 即允许过负荷系数为</p> $K_{OL(2)} = 1 + \frac{S_{N \cdot T} - S_{30}}{S_{N \cdot T}} \leq 1.15$												
2.3	变压器的正常过负荷能力	<p>总的过负荷系数为 $K_{OL} = K_{OL(1)} + K_{OL(2)} - 1$ 总的正常过负荷能力为: ① 户外变压器 $S_{T(OL)} = K_{OL} S_{N \cdot T} \leq 1.3 S_{N \cdot T}$ ② 户内变压器 $S_{T(OL)} = K_{OL} S_{N \cdot T} \leq 1.2 S_{N \cdot T}$</p>												
3	变压器的事事故过负荷能力													
3.1	油浸变压器	<table border="1"> <tr> <td>过负荷 (%)</td> <td>30</td> <td>45</td> <td>60</td> <td>75</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>允许运行时间/min</td> <td>120</td> <td>80</td> <td>45</td> <td>20</td> <td>10</td> </tr> </table>	过负荷 (%)	30	45	60	75	100	允许运行时间/min	120	80	45	20	10
过负荷 (%)	30	45	60	75	100									
允许运行时间/min	120	80	45	20	10									
3.2	干式变压器	<table border="1"> <tr> <td>过负荷 (%)</td> <td>20</td> <td>30</td> <td>40</td> <td>50</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>允许运行时间/min</td> <td>60</td> <td>45</td> <td>32</td> <td>18</td> <td>5</td> </tr> </table>	过负荷 (%)	20	30	40	50	60	允许运行时间/min	60	45	32	18	5
过负荷 (%)	20	30	40	50	60									
允许运行时间/min	60	45	32	18	5									

2. 变电所主变压器的选择 如表 ZY4-3 所示。

表 ZY4-3 变电所主变压器的选择

序号	项 目	说 明
1	变电所主变压器台数的选择	
1.1	根据负荷性质	当变电所有大量一级和二级负荷时, 宜装设两台及以上主变压器, 但变电所如能另外取得足够容量的备用电源时, 亦可只装设一台主变压器
1.2	考虑经济运行	当季节性负荷变化较大、宜于采取经济运行方式时, 可装设两台及以上主变压器
1.3	集中负荷较大时	三级负荷变电所一般只装设一台变压器, 但集中负荷较大时, 可装设两台及以上变压器
1.4	考虑分期逐台安装	根据负荷增长速度, 可以考虑采用两台及以上变压器, 但分期逐台安装, 使变电所以最经济的方式运行
2	变电所主变压器容量的选择	
2.1	只有一台主变压器的变电所	<p>主变压器容量 S_T (可近似地认为是其额定容量 $S_{N \cdot T}$) 应满足变电所所供全部用电设备计算负荷 S_{30} 的需要, 即</p> $S_T \geq S_{30}$

(续)

序号	项 目	说 明
2.2	装有两台及以上主变压器的变电所	当变电所切除一台主变压器时,其余的主变压器容量 $S_{T(n-1)}$ 不应小于全部负荷 $S_{30}^{(0)}$ 的60%,并应保证其全部一、二级负荷 $S_{30(1+1)}$ 的需要,即 ① $S_{T(n-1)} \geq 0.6S_{30}$ ② $S_{T(n-1)} \geq S_{30(1+1)}$
2.3	低压为0.4kV的主变压器单台容量上限	①低压为0.4kV的主变压器单台容量,一般不宜大于1000kV·A(JGJ/T16—92规定)或1250kV·A(GB50053—94规定),如果用电设备容量较大、负荷集中且运行合理时,亦可选用较大容量的主变压器② ②设置在二层楼以上的三相变压器,应考虑垂直和水平运输对通道及楼板载荷的影响。如采用干式变压器,其容量不宜大于630kV·A(JGJ/T16—92规定)③ ③居住小区变电所的配电变压器单台容量不宜大于630kV·A(JGJ/T16—92规定)④
3	低压为230/400V的配电变压器联结组别的选择	
3.1	宜于选用D, yn11联结组别	①由单相不平衡负荷引起的中性线电流超过变压器低压绕组额定电流25%时 ②供电系统中存在较大的“谐波源”,三次及以上高次谐波电流比较突出时 ③需要增大单相短路电流值,以确保低压单相接地短路保护的动作灵敏度④
3.2	宜于选用Y, yn0联结组别	①三相负荷基本平衡,其低压中性线电流不致超过低压绕组额定电流25%时 ②供电系统中高次谐波干扰不严重时 ③低压单相接地短路保护的灵敏度达到要求时
4	宜于装设专用变压器的情况	
4.1	宜设照明专用变压器	当动力与照明共用变压器严重影响照明质量及灯泡寿命时
4.2	宜设单相变压器	联结组别为Yyn0的变压器,当单相不平衡负荷引起的中性线电流超过变压器低压绕组额定电流25%时,宜另设单相变压器
4.3	宜设专用变压器	①当变电所季节性的负荷容量较大时(如有大型民用建筑中的空调、冷冻机等负荷) ②当有容量较大的特殊设备如X光机等时

- ① 如果变电所装设两台主变压器,则每台主变压器直接最大负荷 S_{30} 的70%选择。正常情况下两台并列运行,各承担 S_{30} 的50%,变压器负荷率 $\beta=0.5/0.7 \approx 0.7$,即负荷率约为70%,还是比较经济的。而在故障情况下,由于负荷率 $\beta < 0.75$,可以过负荷40%,连续运行6h,因此一台主变压器可承担 $0.75 \times 140\% \approx 100\% S_{30}$,而且可如此运行5天,显然这是比较合理的,参见文献[1、2]。
- ② 规定配电变压器的单台容量一般不宜超过1000kV·A或1250kV·A,有两方面的原因,一是由于一般车间的负荷密度,选用1000~1250kV·A的变压器更接近于负荷中心,减少低压配电线路的电能损耗、电压损耗和有色金属消耗量;另一是限于变压器低压侧总开关的断流容量。近年来,由于ME、AH等型大断流容量的低压断路器的面世(其技术数据参看文献[3]),因此必要时允许选用1600~2000kV·A的较大容量的变压器。
- ③ 设置在二层楼及以上的变压器(通常为干式),如容量过大,将对结构楼板的载荷及吊装、运输带来不利的影响,因此这种情况的变压器容量不宜超过630kV·A。
- ④ 居住小区变电所通常采用油浸变压器。按保护要求,800kV·A及以上油浸变压器必须装设瓦斯保护,而这种变压器电源侧的断路器往往不在变压器附近,因此很难实现瓦斯保护的装设要求。而且居住小区如果变压器容量大,则供电半径也大,这容易造成供电末端电压偏低,给居民生活带来不便,如日光灯启动困难,电冰箱不能启动等,所以居住小区的变压器不宜超过630kV·A。
- ⑤ 低压单相接地短路保护的灵敏度,取决于单相短路电流值的大小。Dyn11联结的变压器零序电抗远小于Y, yn0联结的变压器(参看表ZY3-7),因此Dyn11联结的变压器的单相接地短路电流远比Y, yn0联结的变压器的大,从而可提高单相接地短路保护的灵敏度。

3. 部分 6~35kV 电力变压器的技术数据 如表 ZY4-4~6 所示。其余 6~10kV 常用电力变压器的技术数据可参看文献 [3]。

表 ZY4-4 S7 系列 6~35kV 铜线双绕组无励磁调压电力变压器的技术数据

型 号	额定容量 kV·A	额定电压 kV		联结组别	损耗 kW		阻抗电压 (%)	空载电流 (%)	外形尺寸 mm			质量 kg			轨距 mm	
		一次	二次		空载	负载			长 (L)	宽 (W)	高 (H)	器身	油	总重		
S7-30/10	30				0.15	0.80		2.8	945	610	980	200	80	305	400	
S7-50/10	50				0.19	1.15		2.6	974	820	1055	250	95	405		
S7-63/10	63				0.22	1.40		2.5	977	830	1075	300	102	460		
S7-80/10	80				0.27	1.65		2.4	1062	830	1090	320	85	492		
S7-100/10	100				0.32	2.00		2.3	1388	840	1302	342	133	575		
S7-125/10	125	6.		Y,yn0	0.37	2.45	4	2.2	1323	862	1431	500	167	728		
S7-160/10	160	10	0.4		0.46	2.85		2.1	1355	885	1451	600	192	870		
S7-200/10	200				0.54	3.40		2.1	1368	987	1471	600	203	953		
S7-250/10	250				0.64	4.00		2.0	1418	1027	1516	700	224	1132		
S7-315/10	315				0.76	4.80		2.0	1470	1060	1541	785	260	1315		
S7-400/10	400				0.92	5.80		1.9	1659	1064	1762	1100	313	1635		
S7-500/10	500				1.08	6.90		1.9	1741	1088	1799	1200	350	1860		
S7-630/10	630				1.30	8.10			1.8	1943	1087	2050	1610	580	2665	
S7-800/10	800	6.			1.54	9.90		4.5	1.5	2267	1230	2180	1900	652	3110	
S7-1000/10	1000	10	0.4		1.80	11.60			1.2	2300	1490	2260	2250	711	3595	
S7-1250/10	1250			2.20	13.80	1.2	2491		1385	2524	2600	900	4370			
S7-6000/10	1600			2.65	16.50	1.1	2557		1434	2614	3084	1049	5030			
S7-50/35	50				265	1350		3.5	1145	935	1800	380	350	800	660	
S7-100/35	100				370	2250		3.2	1190	980	1900	490	445	1240		
S7-125/35	125				420	2650		3.0	1310	995	2050	540	520	1410		
S7-160/35	160				470	3150		2.5	1420	995	2100	595	575	1650		
S7-200/35	200				550	3700		2.3	1780	1000	2180	690	650	1720		
S7-250/35	250				640	4400		2.3	1800	1060	2250	880	710	1960		
S7-315/35	315	35		Y,yn0	760	5300	6.5	2.2	1920	1150	2310	945	770	2250		
S7-400/35	400		0.4		920	6400		2.0	1960	1180	2360	1100	860	2600		
S7-500/35	500				1080	7700		1.8	1980	1200	2400	1270	900	2900		
S7-630/35	630				1300	9200		1.7	1980	1210	2420	1485	945	3320		
S7-800/35	800				1540	11000		1.6	2200	1250	2500	1960	1040	4150		
S7-1000/35	1000				1800	13500		1.5	2230	1260	2600	2110	1150	4410		
S7-1250/35	1250				2200	16300		1.5	2475	1275	2650	2220	1310	4780		
S7-1600/35	1600				2650	19500		1.4	2560	1470	2730	2840	1440	6005		
S7-800/35	800				1540	11000			1.6	2560	1275	2520	1960	1040	4150	820
S7-1000/35	1000	38.5	10.5		1800	13500		6.5	1.5	2595	1400	2550	2110	1150	4410	
S7-1250/35	1250	35	6.3	2200	16300	1.5	2600		1410	2590	2220	1310	4780			
S7-1600/35	1600			2650	19500	1.4	2650		1120	2625	2840	1440	6005			

(续)

型号	额定容量 kV·A	额定电压 kV		联结组别	损耗 kW		阻抗电压 (%)	空载电流 (%)	外形尺寸 mm			质量 kg			轨距 mm	
		一次	二次		空载	负载			长 (L)	宽 (W)	高 (H)	器身	油	总重		
		S7-2000/35	2000						Y,d11	3400	19800	6.5	1.0	2780		1600	2740	3000	1700	6120	1070
S7-2500/35	2500			4000	23000	1.32	2870	1523		2785	3520			1810	7540	
S7-3150/35	3150	38.5	10.5	Y,d11	4750	27000	7.0	1.2	3055	2820	2840	4435	1940	8780	1475	
S7-4000/35	4000	35	6.3		5650	32000			1.2	3020	3050	2897	4920	2270		10540
S7-5000/35	5000				6750	36700			1.1	3650	3070	3127	6050	2400		11010
S7-6300/35	6300				8200	41000			1.05	3800	3120	3227	7450	2860		13990

注:本表主要采用天津变压器厂资料

表 ZY4-5 SL7 系列 6~35kV 铝线双绕组无励磁调压电力变压器的技术数据

型号	额定容量 kV·A	额定电压 kV		联结组别	损耗 kW		阻抗电压 (%)	空载电流 (%)	外形尺寸 mm			质量 kg			轨距 mm	
		一次	二次		空载	负载			长 (L)	宽 (W)	高 (H)	器身	油	总重		
		SL7-30/10	30						Y,yn0	0.15	0.80	4	3.5	1050		620	1155	145	87	317	400
SL7-50/10	50			0.19	1.15	2.8	1110	685		1255	230			125	480	
SL7-63/10	63			0.22	1.40	2.8	1190	690		1255	255			135	525	
SL7-80/10	80			0.27	1.65	2.7	1220	785		1425	290			150	590	
SL7-100/10	100	6,		0.32	2.00	2.6	1295	795		1465	340			170	685	
SL7-125/10	125	6.3,	0.4	0.37	2.45	2.5	1220	840		1475	370			205	790	550
SL7-160/10	160	10		0.46	2.85	2.4	1280	850		1600	470			245	945	
SL7-200/10	200			0.54	3.40	2.4	1380	870		1636	540			270	1070	
SL7-250/10	250			0.64	4.00	2.3	1340	880		1710	635			305	1235	
SL7-315/10	315			0.76	4.80	2.3	1400	1110		1810	770			360	1470	
SL7-400/10	400			0.92	5.80	2.1	1720	990		1995	910			450	1790	660
SL7-500/10	500			1.08	6.90	2.1	1590	1170		2040	1050			495	2050	
SL7-630/10	630	6,	0.4	Y,yn0	1.30	8.10	4.5	2.0		1690	1200			2295	1475	713	2760	820
		6.3,	3.15,	Y,d11												
SL7-800/10	800	6,	0.4	Y,yn0	1.54	9.90	4.5	1.2	2070	1930	2690	1700	815	3200	820	
		6.3,	3.15,	Y,d11												
SL7-1000/10	1000	6,	0.4	Y,yn0	1.80	11.60	4.5	1.1	2140	1610	2951	2100	1048	3980	820	
		6.3,	3.15,	Y,d11												
		10	6.3				5.5	1.4	2200	1800	2600	2100	940	3890	820	

(续)

型 号	额定容量 kV·A	额定电压 kV		联结 组别	损耗 kW		阻抗 电压 (%)	空载 电流 (%)	外形尺寸 mm			质量 kg			轨距 mm
		一次	二次		空载	负载			长 (L)	宽 (W)	高 (H)	器身	油	总重	
SL7-1250/10	1250	6,	0.4	Y,yn0	2.20	13.80	4.5	1.1	2196	1830	3035	2450	1147	4650	820
		6.3, 10	3.15, 6.3	Y,d11												5.5	1.6	2270	1270	2620	2450	1020	4140	820
SL7-1600/10	1600	6,	0.4	Y,yn0	2.65	16.50	4.5	1.0	2300	3195	3195	3010	1332	5620	820
		6.3, 10	3.15, 6.3	Y,d11												5.5	1.3	2337	1370	2705	3010	1210	5020	820
SL7-2000/10	2000	6, 6.3, 10	3.15, 6.3	Y,d11	3.10	19.80	5.5	2.5	2590	1910	2760	2750	1200	5430	1070
SL7-2500/10	2500	6, 6.3, 10	3.15, 6.3	Y,d11	3.65	23.00	5.5	2.2	2670	2140	2910	3280	1450	6330	1070
SL7-3150/10	3150	6, 6.3, 10	3.15, 6.3	Y,d11	4.40	27.00	5.5	2.2	2830	2870	3130	3980	1670	7560	1070
SL7-4000/10	4000	6, 6.3, 10	3.15, 6.3	Y,d11	5.30	32.00	5.5	2.2	3100	3230	3190	4628	1885	8775	1070
SL7-5000/10	5000	6, 6.3, 10	3.15, 6.3	Y,d11	6.40	36.70	5.5	1.0	3300	3010	3330	5700	2120	10270	1070
SL7-6300/10	6300	6, 6.3, 10	3.15, 6.3	Y,d11	7.50	41.00	5.5	1.0	3450	3070	3550	7000	2410	12130	1070
SL7-50/35	50	35	0.4	Y,yn0	0.26	1.35	6.5	2.8	1145	935	1790	385	330	830	660
SL7-100/35	100				0.37	2.25		2.6	1185	995	1905	540	390	1090	
SL7-125/35	125				0.42	2.65		2.5	1200	980	2165	590	505	1300	
SL7-160/35	160				0.47	3.15		2.4	1310	980	2205	680	570	1465	
SL7-200/35	200				0.55	3.70		2.2	1770	1200	2240	810	635	1695	
SL7-250/35	250				0.64	4.40		2.0	1815	1020	2310	910	692	1890	
SL7-315/35	315				0.76	5.30		2.0	1960	1020	2450	1055	760	2185	
SL7-400/35	400				0.92	6.40		1.9	2080	1100	2620	1270	855	2510	
SL7-500/35	500				1.08	7.70		1.9	2100	1340	2680	1445	925	2810	
SL7-630/35	630				1.30	9.20		1.8	2080	1360	2770	1680	1030	3225	820

(续)

型 号	额定容量 kV·A	额定电压 kV		联结组别	损耗 kW		阻抗电压 (%)	空载电流 (%)	外形尺寸 mm			质量 kg			轨距 mm
		一次	二次		空载	负载			长 (L)	宽 (W)	高 (H)	器身	油	总重	
SL7-800/35	800				1.54	11.1		1.5	2320	1410	2975	2165	1280	4200	820
SL7-1000/35	1000		0.4,		1.80	13.5		1.4	2375	1900	3095	2300	1435	4595	
SL7-1250/35	1250		3.15,	Y,yn0	2.20	16.3		1.2	2410	1710	3170	2720	1590	5470	
SL7-1600/35	1600		6.3,	Y,d11	2.65	19.5	6.5	1.1	2450	1910	3240	3150	1715	6060	
SL7-2000/35	2000		10.5		3.40	19.8		1.1	2750	1870	3135	3050	1280	6240	
SL7-2500/35	2500				4.00	23.0		1.1	2620	2210	3260	3530	1435	6980	
SL7-3150/35	3150				4.75	27.0		1.0	2800	2210	3260	4180	2060	8280	1070
SL7-4000/35	4000		3.15,		5.65	32.0		1.0	2920	2220	3590	5020	2250	9580	
SL7-5000/35	5000	35,	6.3,	Y,d11	6.75	36.7		0.9	2880	2370	3690	5900	2510	11000	
SL7-6300/35	6300	38.5	10.5		8.20	41.0		0.9	3350	2520	3760	7230	3140	13340	
SL7-8000/35	8000				11.5	45.0	7.5	0.8							

注:本表主要采用福州变压器厂资料。

表 ZY4-6 SC 系列 6~35kV 树脂绝缘干式变压器的技术数据

型 号	额定容量 kV·A	额定电压 kV		联结组别	损耗 kW		阻抗电压 (%)	空载电流 (%)	外形尺寸 mm			质量 kg
		一次	二次		空载	负载			长 (L)	宽 (W)	高 (H)	
SC-30/10	30				0.24	0.56		3.2	880	600	700	330
SC-50/10	50				0.29	0.96		2.8	880	600	715	350
SC-80/10	80				0.36	1.38		2.2	910	600	940	470
SC-100/10	100				0.40	1.59		2.2	930	740	1010	530
SC-125/10	125				0.44	1.88		2.2	930	740	1100	610
SC-160/10	160				0.54	2.15		2.2	1080	740	1085	800
SC-200/10	200	10,	0.4,		0.65	2.50	4	2.2	1080	740	1150	880
SC-250/10	250	(11,	(6.3,		0.75	2.88		1.8	1110	740	1180	1010
SC-315/10	315	10.5,	6,	D,yn11,	0.84	3.25		1.8	1160	850	1270	1225
SC-400/10	400	6,	3.15,	Y,yn0	1.03	3.75		1.8	1170	850	1430	1450
SC-500/10	500	6.3,	3,	或其它	1.20	4.62		1.8	1265	850	1410	1820
SC-630/10	630	3.15)	0.69)		1.45	5.95		1.8	1485	850	1593	2405
SC-630/10	630				1.40	6.40		1.3	1550	850	1345	2020
SC-800/10	800				1.65	7.95		1.3	1560	1070	1530	2445
SC-1000/10	1000				2.10	9.35		1.3	1630	1070	1680	2930
SC-1250/10	1250				2.40	11.30	6	1.3	1640	1070	1980	3580
SC-1600/10	1600				2.90	13.70		1.3	1770	1070	2045	4555
SC-2000/10	2000				3.50	16.30		1.3	1920	1070	1920	4840

(续)

型 号	额定容量 kV·A	额定电压 kV		联结组别	损耗 kW		阻抗电压 (%)	空载电流 (%)	外形尺寸 mm			质量 kg			
		一次	二次		空载	负载			长 (L)	宽 (W)	高 (H)				
SC-500/35	500	35, (38.5, 36, 30)	0.4, (11, 10.5, 6.6, 6.3, 3.3, 3.15)	Y,yn0, Y,d11 或其它	1.80	5.80	6	1.9	1710	850	1605	2180			
SC-630/35	630				2.10	7.20		1.8	1830	850	1775	2500			
SC-800/35	800				2.60	8.60		1.5	1920	1070	1940	3120			
SC-1000/35	1000				3.20	10.70	7	1.4	1920	1070	1900	3800			
SC-1250/35	1250				3.65	12.90		1.3	2050	1070	2040	4200			
SC-1600/35	1600				4.30	15.10		1.2	2200	1070	2020	5380			
SC-2000/35	2000				5.00	17.60		1.1	2290	1070	2210	6110			
SC-2500/35	2500				3.3, 3.15)	3.3, 3.15)	或其它	6.00	20.60	9	1.1	2290	1070	2370	6600
SC-3150/35	3150							7.10	24.00		1.0	2640	1320	2370	8900
SC-4000/35	4000				3.3, 3.15)	3.3, 3.15)	或其它	8.20	28.00	9	1.0	2740	1320	2490	9710
SC-5000/35	5000	9.70	32.00	0.9				2980	1320		2370	11670			

注:本表采用广东顺德特种变压器厂资料。变压器为铜线双绕组。

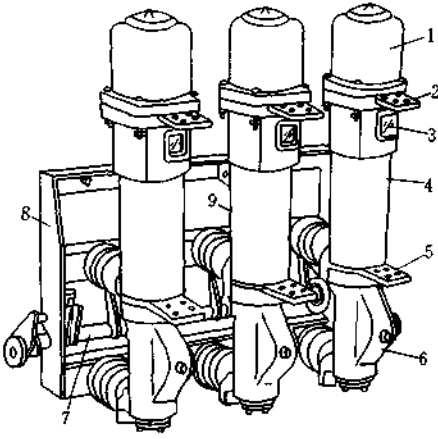
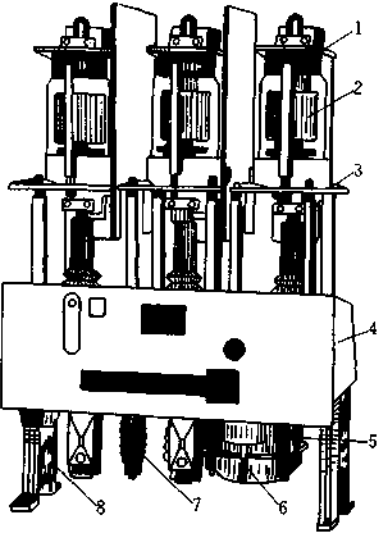
(三) 高压电器及其选择

1. 高压电器的类型、结构特点及其应用范围 如表 ZY4-7 所示。

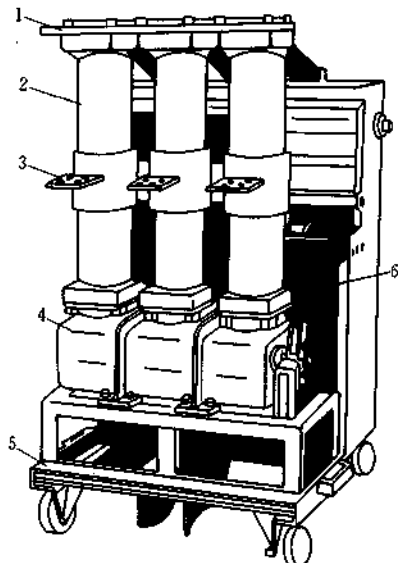
表 ZY4-7 高压电器的类型、结构特点及其应用范围

序号	类 别	结 构 特 点	应 用 范 围
1	高压断路器 (参看表 JC11-1 序号 76~80)		
1.1	多油断路器 (DN、DW 型)	①开关触头在绝缘油中闭合和断开 ②油兼有灭弧和绝缘功能,油量多 ③结构简单,但体积较大,耗用钢材多 ④外壳接地,人体触及无触电危险,但有易燃易爆危险	过去曾广泛应用,但其缺点较严重,因此现已趋于淘汰
1.2	少油断路器 (SN、SW 型)	①开关触头在绝缘油中闭合和断开 ②油只作灭弧介质用,油量少 ③结构简单,且体积小,重量轻 ④外壳带电,必须与大地绝缘,人体不许触及,但燃烧爆炸的危险性较小	现广泛用在不需频繁操作及不要求高速开断的场合

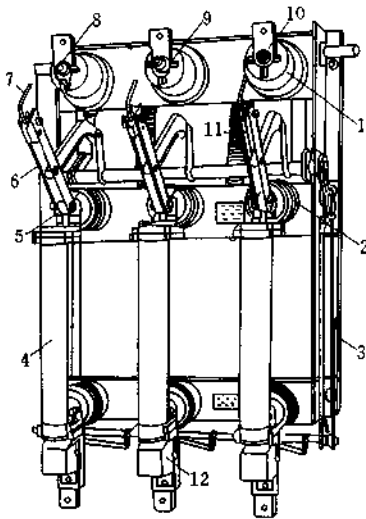
(续)

序号	类别	结构特点	应用范围
1.2	少油断路器(SN、SW型)	 <p>SN10-10型高压少油断路器 1—铝帽 2—上接线端 3—油标 4—绝缘筒 (内装灭弧室及触头) 5—下接线端 6—基座 7—主轴 8—框架 9—断路弹簧</p>	<p>现广泛用在不需频繁操作及不要求高速开断的场合</p>
1.3	真空断路器(ZN、ZW型)	<p>①开关触头在高真空(气压为$10^{-2} \sim 10^{-6}$Pa)的容器内闭合和断开 ②灭弧能力强,燃弧时间短,属高速断路器 ③触头不受外界有害气体的侵蚀,电磨损小,寿命长 ④结构简单,体积小,重量轻,且可采用积木式结构,系列性强 ⑤无易燃易爆介质,因此无易燃易爆危险</p>  <p>ZN3-10型高压真空断路器 1—上接线端(后面出线) 2—真空灭弧室(内有触头) 3—下接线端(后面出线) 4—操动机构箱 5—合闸电磁铁 6—分闸电磁铁 7—断路弹簧 8—底座</p>	<p>适于频繁操作和要求高速开断的场合</p>

(续)

序号	类别	结构特点	应用范围
1.4	六氟化硫(SF ₆)断路器(LN、LW型)	<p>①开关触头在SF₆气体中闭合和断开 ②SF₆气体兼有灭弧和绝缘功能 ③灭弧能力强,亦属高速断路器 ④SF₆气体本身无毒,但在电弧的高温作用下会产生氟化氢等有强烈腐蚀性的剧毒物,检修时应注意防毒 ⑤结构简单,且亦可采用积木式结构 ⑥无燃烧爆炸危险</p>  <p>LN2-10型六氟化硫断路器 1—上接线端 2—绝缘筒(内为汽缸及触头系统) 3—下接线端 4—操动机构箱 5—小车 6—断路弹簧</p>	<p>亦适于频繁操作和要求高速开断的场合,但不适于高寒地区</p>
1.5	压缩空气断路器(QW型)	<p>①利用压缩空气吹动电弧,并使电弧熄灭 ②灭弧能力强,分断时间短,断流能力大 ③结构较复杂,但亦可采用积木式结构,系列性强</p>	<p>主要用于超高压电网中及不适于采用SF₆断路器的高寒地区</p>
2	高压负荷开关(参看表JC11-1序号75)		
2.1	固体产气式负荷开关(FN1、FW5等型)	<p>①利用开断电弧的能量来使灭弧室内壁的产气材料分解,产生气体来吹灭电弧,但灭弧能力较小,只能熄灭负荷和过负荷的开断电弧 ②必须与限流熔断器串联使用,借助熔断器来断开短路电流 ③结构简单</p>	<p>用于35kV及以下的电网中</p>

(续)

序号	类别	结构特点	应用范围
2.2	压气式负荷开关 (FN2、3型)	<p>①开断过程中利用传动机构带动活塞来压气吹弧而使电弧熄灭 ②其余与序号 2.1 的固体产气式相同</p>  <p>FN3-10RT 型高压负荷开关 1—上支柱绝缘子(兼气缸,内有活塞) 2—下支柱绝缘子 3—框架 4—RN1型高压熔断器 5—下触座 6—闸刀 7—弧动触头 8—绝缘喷嘴(内有弧静触头) 9—主静触头 10—上触座 11—断路弹簧 12—热脱扣器</p>	亦用于 35kV 及以下的电网中
2.3	压缩空气式负荷开关	<p>①利用压缩空气来吹灭电弧 ②结构较复杂 ③其余与序号 2.1 同</p>	用于 66kV 及以下电网中
2.4	六氟化硫(SF ₆)负荷开关	<p>①利用 SF₆ 气体灭弧 ②结构较复杂 ③其余与序号 2.1 同</p>	用于 35kV 及以下电网中
2.5	油浸式负荷开关	<p>①利用绝缘油来灭弧 ②结构简单,但重量大 ③其余与本表序号 2.1 同</p>	用于 35kV 及以下电网中
2.6	真空式负荷开关	<p>①利用真空介质灭弧 ②电寿命长,但价格昂贵 ③亦须与熔断器串联使用</p>	用于 220kV 及以下电网中

(续)

序号	类别	结构特点	应用范围
3	高压隔离开关 (参看表 JC11-1 序号 73)		
3.1	户内式隔离开关 (GN 型)	<p>①没有专门的灭弧装置, 因此不能带负荷操作, 但允许通断一定的变压器空载电流、无载线路的电容电流以及电压互感器、避雷器等</p> <p>②断开后有明显可见的断开间隙, 因此可用来隔离高压电源, 以保证安全检修</p> <p>③多为三相闸刀同一底座结构, 闸刀均作垂直回转运动</p>	用于 35kV 及以下的户内装置中
3.2	户外式隔离开关 (GW 型)	<p>①结构形式有单柱式、双柱式和三柱式, 闸刀有垂直回转式和水平回转式两种</p> <p>②其余与序号 3.1 ①、②相同</p>	多用于 35kV 及以下户外装置中
4	高压熔断器 (参看表 JC11-1 序号 91~93)		
4.1	户内管型熔断器 (RN 型)	<p>①熔断管内充填有石英砂, 铜质熔丝是在石英砂内熔断并熄灭电弧, 其灭弧速度快, 能在短路电流达到冲击值之前熄灭电弧, 因此具有“限流”作用</p> <p>②熔断管插入固定的弹性触座内, 在熔丝熔断后, 有红色的熔断指示器从熔断管的一端弹出, 但熔断管不会“跌开”</p>	用于 35kV 及以下的户内装置中
4.2	户外跌落式熔断器 (RW 型)	<p>①熔断管为纤维管, 熔丝熔断时产生的电弧使管内壁纤维质分解产生气体吹弧, 并借熔断管的自重使熔断管绕一端的轴跌开, 使电弧迅速熄灭, 但其灭弧能力不强, 灭弧时间较长, 不能在短路电流达到冲击值之前熄灭电弧, 因此这类熔断器属“非限流”熔断器</p> <p>②熔丝熔断器, 熔断管跌开, 使电路有明显可见的断开间隙, 因此这类熔断器除具短路保护功能外, 尚具隔离开关功能, 能隔离高压电源, 确保安全检修, 同时能进行无负荷操作。但有一种带简单灭弧装置的 RW10-10 (F) 型户外跌落式熔断器能像负荷开关一样带负荷操作</p>	用于 35kV 及以下的户外装置中
5	高压仪用互感器 (参看表 JC11-1 序号 56~58)		
5.1	电流互感器	<p>①有油浸式和干式两种, 以干式应用最多</p> <p>②一般有两个铁心和两个二次绕组, 分别接仪表和继电保护 (其余参看表 JC11-16)</p>	用于电流、功率和电能测量及电流继电保护
5.2	电压互感器	<p>①有油浸式和干式两种, 以干式应用最多</p> <p>②有单相双绕组、单相三绕组和三相五芯柱三绕组等结构型式 (其余参看表 JC11-16)</p>	用于电压、功率和电能测量及电压继电保护

2. 高压电器的选择与校验 高压电器选择校验的项目如表 ZY4-8 所示; 其选择校验的条件如表 ZY4-9 所示。

表 ZY4-8 高压电器选择校验的项目

序号	电器名称	额定电压	额定电流	额定开断电流	短路电流校验		环境条件	其它
					动稳定	热稳定		
1	断路器	✓	✓	✓	✓	✓	✓	操作性能
2	负荷开关	✓	✓	✓	✓	✓	✓	操作性能
3	隔离开关	✓	✓	—	✓	✓	✓	操作性能
4	熔断器	✓	✓	✓	—	—	✓	前后级间配合
5	限流电抗器	✓	✓	—	✓	✓	✓	—
6	电流互感器	✓	✓	—	✓	✓	✓	二次侧负荷、准确度级
7	电压互感器	✓	—	—	—	—	✓	二次侧负荷、准确度级
8	支柱绝缘子	✓	—	—	✓	—	✓	—
9	套管绝缘子	✓	✓	—	✓	✓	✓	—
10	母线	—	✓	—	✓	✓	✓	—
11	电缆	✓	✓	—	—	✓	✓	—

注：1. 表中“✓”表示为选择校验的必需项目，“—”表示为不必考虑的项目。

2. 本表是按电气设备用于 50Hz 的情况，如用于其它频率时，应对频率进行校验。

表 ZY4-9 高压电器选择校验的条件

序号	项 目	选 择 校 验 条 件
1	按工作电压选择	电器额定电压 $U_{N \cdot e}$ 应不低于所在电路额定电压 U_N ，即 $U_{N \cdot e} \geq U_N$
2	按工作电流选择	电器额定电流 $I_{N \cdot e}$ 应不小于所在电路的计算电流 I_{30} ，即 $I_{N \cdot e} \geq I_{30}$
3	按开断电流选择	断路器的最大开断电流 I_{oc} 应不小于其实际开断时间的可能最大的短路电流有效值 I_k ，即 $I_{oc} \geq I_k$
		在无限大容量系统中，当采用低速断路器（如油断路器），其实际开断时间等于或大于 0.2s 时，可按短路电流周期分量有效值 I_k 来选择断路器，即 $I_{oc} \geq I_k$
		如断路器实际开断时间小于 0.2s 时，则可按短路次暂态电流有效值 I' 来选择，即 $I_{oc} \geq I'$
		对于装有速断保护的高速断路器，当实际开断时间小于 0.1s 时则按短路全电流最大有效值即短路冲击电流有效值 I_{sh} ，即 $I_{oc} \geq I_{sh}$
		负荷开关的最大开断电流 I_{oc} 应不小于其可能开断的最大过负荷电流 $I_{OL \cdot \max}$ ，即 $I_{oc} \geq I_{OL \cdot \max}$

(续)

序号	项 目		选 择 校 验 条 件
3	按 开 断 电 流 选 择	熔断器	限流式 熔断器的最大开断电流 I_{oc} 应不小于其装设地点的三相短路次暂态电流 $I''^{(3)}$, 即 $I_{oc} \geq I''^{(3)}$
			非限流式 熔断器的最大开断电流 I_{oc} 应不小于其装设地点的三相短路冲击电流有效值 $I_{sh}^{(3)}$, 即 $I_{oc} \geq I_{sh}^{(3)}$
		跌开式 熔断器	开断电流上限 熔断器的开断电流上限 I_{oc} 应不小于其装设地点的三相短路冲击电流有效值 $I_{sh}^{(3)}$, 即 $I_{oc} \geq I_{sh}^{(3)}$
			开断电流下限 熔断器的开断电流下限 $I_{oc \cdot min}$ 应不大于其所在线路末端的两相短路电流周期分量有效值 $I_k^{(2)}$, 即 $I_{oc \cdot min} \leq I_k^{(2)}$
4	短 路 动 稳 定 度 的 校 验	断路器、负荷开关、隔离开关、电抗器 电器的动稳定电流峰值 i_{max} 应不小于可能最大的短路冲击电流 i_{sh} , 或其动稳定电流有效值 I_{max} 应不小于可能最大的短路冲击电流有效值 I_{sh} , 即 $i_{max} \geq i_{sh}$ $I_{max} \geq I_{sh}$	
		电流互感器 电流互感器有的给出动稳定电流, 但大多给出动稳定倍数 $K_{es} = i_{max} / (\sqrt{2} I_{1N})$, 其动稳定度校验条件为 $K_{es} \times \sqrt{2} I_{1N} \geq i_{sh}$ 式中, I_{1N} 为电流互感器额定一次电流	
		支柱绝缘子套管绝缘子 绝缘子的最大允许载荷 F_{al} 应不小于可能最大的短路冲击电流所产生的作用力 $F^{(3)}$, 即 $F_{al} \geq F^{(3)}$ 式中, F_{al} 为绝缘子机械破坏载荷的 60%; $F^{(3)} = \sqrt{3} i_{sh}^{(3)2} \frac{l}{a} \times 10^{-7}$ (参看表 ZY3-10 序号 2)	
		母线 母线的最大允许应力 σ_{al} 应不小于其最大计算应力 σ_c , 即 $\sigma_{al} \geq \sigma_c$ 式中, σ_{al} 按 GB50060-92《3~110kV 高压配电装置设计规范》规定: 硬铝母线为 70MPa, 硬铜母线为 140MPa; $\sigma_c = M/W$ (参看表 ZY3-10 序号 3)	
5	短 路 热 稳 定 度 的 校 验	断路器、负荷开关、隔离开关、电抗器、套管绝缘子 电器的热稳定度校验条件为 $I_t^2 \geq I_{oc}^{(3)2} t_{ima}$ 式中, I_t 为电器的热稳定电流, t 为其热稳定时间; $I_{oc}^{(3)}$ 为通过电器的三相短路稳态电流; t_{ima} 为短路发热假想时间 (参看表 ZY3-11 序号 2)	

(续)

序号	项 目		选 择 校 验 条 件
5	短 路 热 稳 定 度 的 校 验	电 流 互 感 器	<p>电流互感器有的给出热稳定电流和热稳定时间,但大多给出热稳定倍数 $K_t = I_t / (\sqrt{2} I_{1N})$ 和热稳定时间 t (通常为 1s), 其热稳定度校验条件为</p> $(K_t I_{1N})^2 t \geq I_{\infty}^{(3)2} t_{ima}$ <p>式中, I_{1N} 为电流互感器额定一次电流</p>
		母 线、电 缆、绝 缘 导 线	<p>母线、电缆和绝缘导线的短路热稳定度,可按其满足热稳定度的最小截面 A_{min} 来校验,即</p> $A \geq A_{min} = \frac{I_{\infty}^{(3)} \sqrt{t_{ima}}}{C}$ <p>式中, A 为母线、电缆和绝缘导线的导体截面积 (mm^2); C 为导体的短路热稳定系数 (参看表 ZY4-10)</p> <p>母线、电缆和绝缘导线的短路热稳定度,亦可按其短路最高温度 θ_k (参看表 ZY3-11 序号 3) 来校验,即</p> $\theta_{k \cdot max} \geq \theta_k$ <p>式中, $\theta_{k \cdot max}$ 为导体短路时的最高允许温度 (参看表 ZY4-10)</p>

表 ZY4-10 母线、电缆和绝缘导线正常和短路时最高允许温度及短路热稳定系数值

序号	类 别		正常工作时最高 允许温度/°C	短路时最高 允许温度/°C	短路热稳定系数 C / $(A \cdot s^{\frac{1}{2}} \cdot \text{mm}^{-2})$	
1	母 线	铝	70	200	87	
		铜	70	300	171	
2	油浸纸绝缘电 缆	1~3kV	铝	80	200	84
			铜	80	250	148
		6kV	铝	65	200	90
			铜	65	220	145
		10kV	铝	60	200	92
			铜	60	220	148
3	橡皮绝缘导线和电缆	铝	65	150	74	
		铜	65	150	112	
4	聚氯乙烯绝缘导线和电缆	铝	65	130	65	
		铜	65	130	100	
5	交联聚乙烯绝缘电缆	铝	80	200	84	
		铜	80	230	140	
6	有中间接头的电缆 (不包括 聚氯乙烯电缆)	铝		150		
		铜		150		

3. 部分高压电器的型号和技术数据 如表 ZY4-11~21 所示, 其余可参看文献 [3]。

表 ZY4-11 部分常用高压断路器的技术数据

类别	型号	额定电压 kV	额定电流 A	开断电流 kA	断流容量 MV·A	动稳定 电流峰 值/kA	热稳定电流 kA	固有分闸 时间/s	合闸时 间/s	配用操动 机构型号		
少油 户外	SW2-35/1000	35	1000	16.5	1000	45	16.5 (4s)	0.06	0.4	CT2-XG		
	SW2-35/1500		1500	24.8	1500	63.4	24.8 (4s)					
少油 户内	SN10-35 I	35	1000	16	1000	40	16 (4s)	0.06	0.2	CT10		
	SN10-35 II		1250	20		50	20 (4s)				0.25	CD10W
	SN10-10 I	10	630	16	300	40	16 (4s)	0.06	0.15	CT8		
			1000	16	300	40	16 (4s)				0.2	CD10 I
	SN10-10 II		1000	31.5	500	80	31.5 (2s)	0.06	0.2	CD10 I、II		
			1250	40	750	125	40 (2s)				0.07	0.2	CD10 II
	SN10-10 III		2000	40	750	125	40 (4s)	0.07	0.2	CD10 II		
3000			40	750	125	40 (4s)						
真空 户内	ZN23-35	35	1600	25		63	25 (4s)	0.06	0.075	CT12		
	ZN3-10 I	10	630	8		20	8 (4s)	0.07	0.15	CD10 等		
	ZN3-10 III		1000	20		50	20 (2s)	0.05	0.10			
	ZN4-10/1000		1000	17.3		44	17.3 (4s)	0.05	0.2	CD10 等		
	ZN4-10/1250		1250	20		50	20 (4s)					
	ZN5-10/630	630	20		50	20 (2s)	0.05	0.1	专用 CD 型			
	ZN5-10/1000	1000	20		50	20 (2s)						
	ZN5-10/1250	1250	25		63	25 (2s)						
	ZN12-10 /1250-25 2000	10	1250	25		63	25 (4s)	0.06	0.1	CT8 等		
			2000									
ZN12-10/1250~ 3150-31.5 40	1250		31.5,	40		80,	31.5 (4s)					
	2000					100	40 (4s)					
	2500											
3150												
ZN24-10/ 1250-20	10	1250	20		50	20 (4s)	0.06	0.1	CT8 等			
ZN24-10 /1250-31.5 2000		1250	31.5		80	31.5 (4s)						
六氟 化硫 (SF ₆) 户内	LN2-35 I	35	1250	16		40	16 (4s)	0.06	0.15	CT12 I		
	LN2-35 II		1250	25		63	25 (4s)					
	LN2-35 III		1600	25		63	25 (4s)					
	LN2-10	10	1250	25		63	25 (4s)	0.06	0.15	CT12 I CT8 I		

表 ZY4-12 35kV 隔离开关和隔离手车的技术数据

型 号	额定电压 kV	额定电流 A	极限通过电流峰值 kA	热稳定电流 kA	配用操动机构型号
GW2-35G GW2-35GD	35	600	40	20 (4s)	CS8-6
GW4-35 GW4-35G GW4-35D GW4-35W GW4-35DW	35	600 1000 2000	50 80 104	15.8 (4s) 23.7 (4s) 46.0 (4s)	CS8-6 CS11
GW5-35G GW5-35GD GW5-35GW GW5-35GDW	35	600 1000 1600 2000	72 83 100	16 (4s) 25 (4s) 31.5 (4s)	CS17-G CS1-XG 等
GN2-35 GN2-35T	35	400 600 1000	52 64 70	14 (5s) 25 (5s) 27.5 (5s)	CS6-2T CS7
隔离手车 I 型 隔离手车 I 型	35	1250 1600	63 63	25 (4s) 25 (4s)	

表 ZY4-13 RN2-35 型和 RW10-35 型熔断器的技术数据

型 号	额定电压 kV	额定电流 A	断流容量 MV·A	最大切断电流 kA	切断极限短路电流时的 最大电流峰值/kA
RN2-35	35	0.5	1000	17	0.7
RW10-35/3	35	2	1000	16.5	—

表 ZY4-14 LCZ-35 型电流互感器的技术数据 (一)

额定电压 /kV	额定电流/A		准确级次组合	准确级次	额定二次负荷 V·A	10%倍数 不小于
	一次	二次				
35	20, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 800, 1000	5	0.2/0.2, 0.5/3, 0.5/0.5, 0.5/10P, 3/ 3, 3/10P, 10P/10P	0.2	20	—
				0.5	50	—
				3	50	10
				10P	20	27

表 ZY4-15 LCZ-35 型电流互感器的技术数据 (二)

额定一次电流 A	1s 热稳定电流 kA	额定动稳定电流 kA	额定一次电流 A	1s 热稳定电流 kA	额定动稳定电流 kA
20	1.30	4.24	200	13.0	42.4
30	1.95	6.36	300	19.5	63.6
40	2.60	8.48	400	26.0	84.8
50	3.25	10.60	600	39.0	127.2
75	4.87	15.90	800	52.0	133.1
100	6.50	21.20	1000	65.0	141.4
150	9.75	31.80			

表 ZY4-16 LB6-35 型电流互感器的技术数据 (一)

额定电流/A		准确 级次	额定二次负荷/ Ω $\cos\varphi=0.8$	10%倍数	最大二次电流倍数 (额定二次负荷)	二次线圈阻抗/ Ω		
一 次	二 次					R_2	X_2$	|Z_2|$
5, 10, 15, 30, 50, 75, 150, 750	5	0.5	1.6	—	4.64	0.196	0.10	0.220
		B_1	1.6	20	27.5	0.259	0.10	0.278
		B_2	1.2	20	26.7	0.230	0.10	0.251
20, 40, 100, 200, 400, 800	5	0.5	1.6	—	4.54	0.197	0.10	0.221
		B_1	1.6	20	27.5	0.269	0.10	0.287
		B_2	1.2	20	26.6	0.238	0.10	0.258
1000	5	0.5	1.6	—	4.11	0.200	0.10	0.224
		B_1	1.6	20	26.9	0.302	0.10	0.318
		B_2	1.2	20	27.6	0.276	0.10	0.294
300, 600, 1200	5	0.5	1.6	—	4.78	0.243	0.15	0.286
		B_1	1.6	20	25.8	0.332	0.15	0.364
		B_2	1.2	20	26.4	0.301	0.15	0.336
1500	5	0.5	1.6	—	4.44	0.257	0.15	0.298
		B_1	1.6	20	28.3	0.400	0.15	0.427
		B_2	1.2	20	28	0.361	0.15	0.391
2000	5	0.5	1.6	—	5.68	0.355	0.15	0.385
		B_1	1.6	20	26.6	0.474	0.15	0.497
		B_2	1.2	20	28.7	0.446	0.15	0.471

注：本型为户外型，额定电压为 35kV，有三个二次线圈 (0.5, B_1 , B_2)。

表 ZY4-17 LB6-35 型电流互感器的技术数据 (二)

额定一次电流 A	1 秒热稳定电流有效值		额定一次电流 A	1 秒热稳定电流有效值	
	kA			kA	
5	0.5		100	10	
10	1.0		150	15	
15	1.5		200	20	
20	2.0		300	30	
30	3.0		400, 600	40	
40	4.0		750, 800	40	
50	5.0		1000, 1200	40	
75	7.5		1500, 2000	40	

表 ZY4-18 JD6-35 型电压互感器的技术数据

额定电压/V		额定频率 Hz	相应准确级下的额定二次容量/V·A cosφ=0.8			二次线圈极限容量/V·A cosφ=0.8~1	线圈联结组
一次	二次		0.5 级	1 级	3 级		
35000	100	50	150	250	500	1000	1/1-12

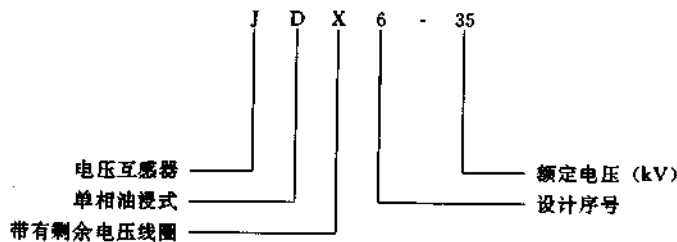
注：本型为单相双线圈油浸式户外型产品，两台互感器接成 V/V，可用于三相线路，此时三相使用的总容量为两台额定容量的 $\sqrt{3}/2$ 倍。

表 ZY4-19 JDX6-35 型电压互感器的技术数据

额定电压/V			额定频率 Hz	相应准确级下的额定二次容量/V·A cosφ=0.8			二次线圈极限容量 V·A cosφ=0.8~1	剩余电压线圈 额定容量 V·A cosφ=0.8	线圈联结组
一次线圈	二次线圈	剩余电压线圈		0.5 级	1 级	3 级			
35000/ $\sqrt{3}$	100/ $\sqrt{3}$	100/3	50	150	250	500	1000	100	1/1/1-12-12

注：本型为单相三线圈户外型产品，油浸式全密封型结构，适用于中性点不直接接地的 35kV 电力系统中，供电压、电能测量及继电保护之用。

型号说明：



三只互感器可连接成 Y_o/Y_o/Δ (开口三角形) 或 Y_o/Y_o/Δ-12-11。

表 ZY4-20 JDJ-35、JDJ2-35、JDJJ2-35 及 JDX-35 等型电压互感器的技术数据

型号	额定电压/V				额定容量/VA				最大容量 /V·A	
	一次线圈 (A、X)	二次线圈			辅助二 次线圈 (aD、xD)	0.2级	0.5级	1级		3级
		综合 (a、x)	计量 (1a、1x)	监控 (2a、2x)						
JDJ-35	35000	100	100	100		25				
JDJ2-35	35000	100					150	250	500	1000
JDJJ2-35	$35000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$			100/3		150	250	500	1000
JDJJ2-35	$35000/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$			100/3	150			1000	1500
JDX-35	$35000/\sqrt{3}$		$100/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	100/3	100			150	2000

表 ZY4-21 JLS4-35 型组合互感器的技术数据

元 件	一次电流或电压	二次电流或电压	准确级次	单件容量/V·A
电流互感器	600A 及以下	5A	0.2	10、15、20、25
电压互感器	35000V	100V	0.2	20、25、30、40

注：1. 电流互感器元件（CT 元件）的 1s 热稳定电流倍数为 40，动稳定是热稳定的 2.55 倍。

2. 300/5A 以下可以是双变比，双变比电流大小之差在一倍以内。

4. 部分高压开关柜的型号和技术数据 如表 ZY4-22 所示。表 ZY4-23 为 JYN1-35 型户内金属封闭间隔移开式“五防”开关柜的主结线方案及其主要电气设备，该表依据四川电器股份有限公司（四川电器厂）1994 年产品样本。其中主要电气设备的技术数据可参看本章前面有关表格。其它常用的 6~10kV 开关柜资料可参看文献 [3]。

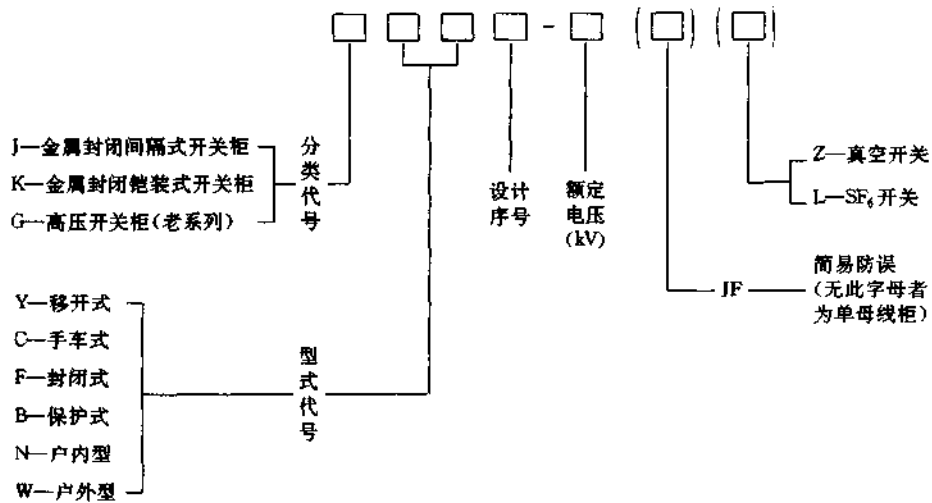
表 ZY4-22 部分高压开关柜的型号和技术数据

序号	开关柜型号	额定电压/kV	额定电流/A	主开关型号	操动机构型号	电流互感器型号
1	JYN1-35	35	1000, 1250	SN10-35, ZN23-35, LN2-35	CD10, CT10, CT12 等	LCZ-35
2	GBC-35 GBC-35 (JF)	35	1250, 1600	SN10-35, ZN23-35, LN2-35	CD10, CT10, CT12 等	LCZ-35, LZBJ1-35
3	JYN2-10	10	630~2500	SN10-10 I SN10-10 II SN10-10 III	CD10, CT8	LZZB6-10 LZZQB6-10
4	KYN-10	10	630~3000	SN10-10 I SN10-10 II SN10-10 III	CD10, CT8	LDJ-10
5	KGN-10	10	630~2500	SN10-10 I SN10-10 II SN10-10 III	CD10, CT8	LA-10, LAJ-10
6	GG1A-10 (F)	10	600~3000	SN10-10 FN ₃ -10 (R) FN1-10 (R)	CD10, CD14, CS2	LA-10, LAJ-10, LQJ-10

(续)

序号	电压互感器型号	高压熔断器型号	避雷器型号	接地开关型号	外形尺寸/mm (长×宽×高)
1	JDJ2-35 JDJJ2-35	RN2-35 RW10-35/3	FZ3-35 Y5W3-42/134	JN-35	主柜 1818×2400×2925
2	JDJ2-35 JDJJ2-35	RN2-35 RW10-35/3	FZ-35		主柜 1818×2000×2500
3	JDZ6-10 JDZJ6-10	RN2-10	FZ2, FS2	JN-10	840×1500×2200, 1000×1500×2200
4	JDZ-10 JDZJ-10	RN2-10	FZ2 FS2	JN-10	800×1500 (1650, 1800) ×1800
5	JDZ-10 JDZJ-10	RN2-10	FZ-10 FS-10		1180×1600×2000
6	JDZ-10 JDZJ-10	RN1-10 RN2-10	FZ-10 FS-10 FCD-10		1215×1215×3100

注：1. 高压开关柜产品型号格式之一 [如 JYN1-35 等]



2. 高压开关柜产品型号格式之二 [如 GG-1A (F) 等]

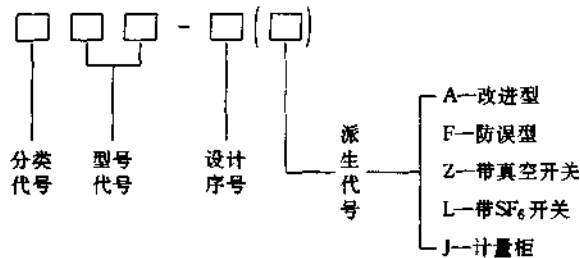


表 ZY4-23 JYN1-35 型移开式开关柜的主结线方案及其主要设备

主结线方案编号		01	02	03	04	05	06
主结线方案							
用途		架空进、出线					
主要电气设备型号规格及数量	断路器 SN10-35 I ZN23-35 LN2-35 I	1	1	1	1	1	1
	LCZ-35 电流互感器		1	2	3	1	2
	JN-35 接地开关	1	1	1	1	1	1
	CB-35 穿墙套管	3	3	3	3	3	3
	大附柜	1	1	1	1	1	1
	小附柜						
主结线方案编号		07	08	09	10	11	12
主结线方案							
用途		架空进、出线					电缆进、出线
主要电气设备型号规格及数量	断路器 SN10-35 I ZN23-35 LN2-35 I	1	1	1	1	1	1
	LCZ-35 电流互感器	3	4	4	5	6	
	JN-35 接地开关	1	1	1	1	1	1
	CB-35 穿墙套管	3	3	3	3	3	
	大附柜	1	1	1	1	1	
	小附柜						1

(续)

主结线方案编号		13	14	15	16	17	18
主结线方案							
用途		电缆进、出线					
主要电气设备型号规格及数量	断路器 SN10-35 I ZN23-35 LN2-35 II	1	1	1	1	1	1
	LCZ-35 电流互感器	1	2	3	1	2	3
	JN-35 接地开关	1	1	1	1	1	1
	小附柜	1	1	1	1	1	1
主结线方案编号		19	20	21	22	23	24
主结线方案							
用途		电缆进、出线					
主要电气设备型号规格及数量	断路器 SN10-35 I ZN23-35 LN2-35 II	1	1	1	1	1	1
	LCZ-35 电流互感器	4	4	5	6		1
	JN-35 接地开关	1	1	1	1		
	小附柜	1	1	1	1	1	1
		左(右)联络					

(续)

主接线方案编号		25	26	27	28	29	30
主接线方案							
用途		左(右)联络					
主要电气设备型号规格及数量	断路器 SN10-35 I ZN23-35 LN2-35 I	1	1	1	1	1	1
	LCZ-35 电流互感器	2	3	1	2	3	4
	小附柜	1	1	1	1	1	1
主接线方案编号		31	32	33	34	35	36
主接线方案							
用途		左(右)联络			架空进出线兼左(右)联络		
主要电气设备型号规格及数量	断路器 SN10-35 I ZN23-35 LN2-35 I	1	1	1	1	1	1
	LCZ-35 电流互感器	4	5	6		1	2
	CB-35 穿墙套管				6	6	6
	小附柜	1	1	1			
	大附柜				1	1	1

(续)

主结线方案编号		37	38	39	40	41	42	
主结线方案								
用途		架空进出线兼左(右)联络	架空进、出线					
主要电气设备型号规格及数量	断路器 SN10-35 I ZN23-35 LN2-35 I II	1						
	LCZ-35 电流互感器	3		1	2	3	1	
	JN-35 接地开关		1	1	1	1	1	
	隔离手车 I型 II型		1	1	1	1	1	
	CB-35 穿墙套管	6	3	3	3	3	3	
	大附柜	1	1	1	1	1	1	
备注		只可用于单进单出或内、外桥结线系统						
主结线方案编号		43	44	45	46	47	48	
主结线方案								
用途		架空进、出线			电缆进、出线			
主要电气设备型号规格及数量	隔离手车 I型 II型	1	1	1	1	1	1	
	LCZ-35 电流互感器	2	3		1	2	3	
	JN-35 接地开关	1	1	1	1	1	1	
	大附柜	1	1					
	小附柜			1	1	1	1	
备注		只可用于单进单出或内、外桥结线系统						

四、供电系统的主要设备及其选择(ZY4)

主结线方案编号		49	50	51	52	53	54	
主结线方案								
		用途			电缆进、出线		左(右)联络	
主要电气设备型号规格及数量	隔离手车	I型 II型	1	1	1	1	1	1
	LCZ-35 电流互感器		1	2	3		1	2
	JN-35 接地开关		1	1	1			
	小附柜		1	1	1	1	1	1
备注		只可用于单进单出或内、外桥结线系统						
主结线方案编号		55	56	57	58	59	60	
主结线方案								
		用途						左(右)联络
主要电气设备型号规格及数量	隔离手车	I型 II型	1	1	1	1	1	1
	LCZ-35 电流互感器		3	1	2	3	4	4
	小附柜		1	1	1	1	1	1

(续)

主结线方案编号		61	62	63	64	65	66
主结线方案							
用途		左(右)联络		架空进、出线兼左(右)联络			
主要电气设备型号规格及数量	隔离手车	I型 I型		1	1	1	1
	LCZ-35 电流互感器	5	6		1	2	3
	CB-35 穿墙套管			6	6	6	6
	大附柜			1	1	1	1
	小附柜	1	1				
主结线方案编号		67	68	69	70	71	72
主结线方案							
用途		电压互感器	电压互感器 兼电缆进出	电压互感器兼左(右)联络			
主要电气设备型号规格及数量	LCZ-35 电流互感器				1	2	3
	JDJ2-35 电压互感器	1	1	1	1	1	1
	RN2-35 熔断器	2	2	2	2	2	2
	小附柜		1	1	1	1	1

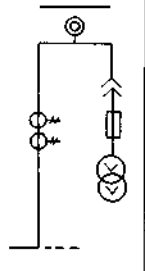
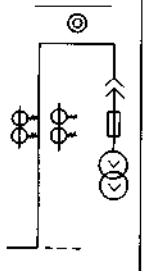
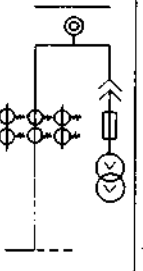
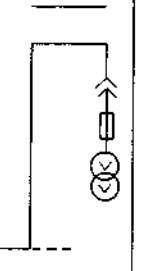
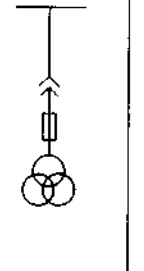
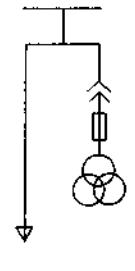
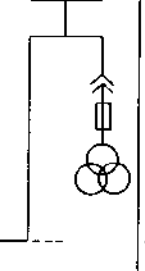
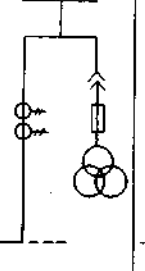
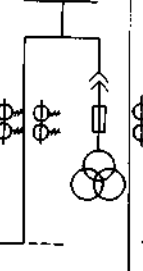
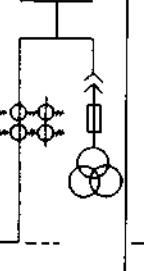
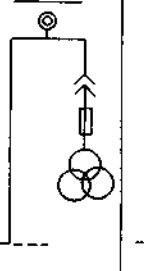
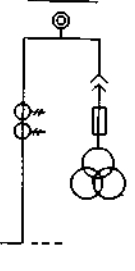
(续)

主结线方案编号	73	74	75	76	77	78	
主结线方案							
用途	电压互感器兼架空进、出线及左右联络				电压互感器兼左右联络	电压互感器	
主要电气设备型号规格及数量	LCZ-35 电流互感器		1	2	3		
	JDJ2-35 电压互感器	1	1	1	1	2	
	RN2-35 熔断器	2	2	2	2	2	
	CB-35 穿墙套管	6	6	6	6		
	大附柜	1	1	1	1		
	小附柜					1	1
主结线方案编号	79	80	81	82	83	84	
主结线方案							
用途	电压互感器兼电缆进出	电压互感器兼左右联络					
主要电气设备型号规格及数量	LCZ-35 电流互感器			1	2	3	
	JDJ2-35 电压互感器	2	2	2	2	2	
	RN2-35 熔断器	3	3	3	3	3	
	CB-35 穿墙套管					6	
	大附柜						1
	小附柜	1	1	1	1	1	

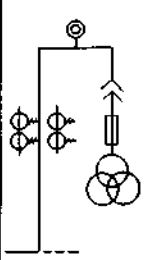
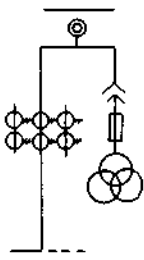
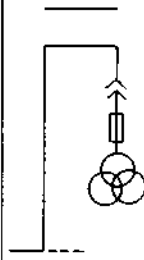
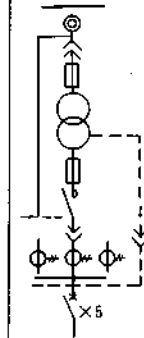
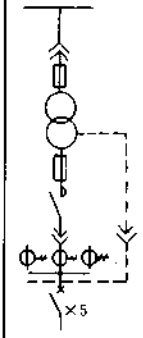
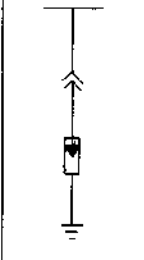
227

电气工程手册

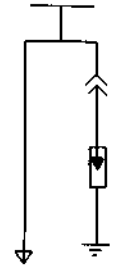
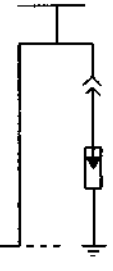
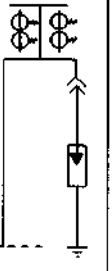
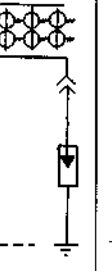
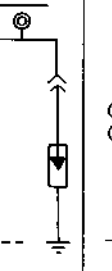
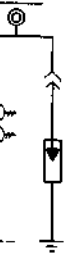
(续)

主结线方案编号		85	86	87	88	89	90
主 结 线 方 案							
	用 途	电压互感器兼架空进出线及联络			电压互感器 兼左右联络	电压互感器	电压互感器 兼电缆进出
主要电 气设 备型 号规 格及 数 量	LCZ-35 电流互感器	1	2	3			
	JDJ2-35 电压互感器	2	2	2	2	3	3
	RN2-35 熔断器	3	3	3	3	3	3
	CB-35 穿墙套管	6	6	6			
	大附柜	1	1	1			
	小附柜				1		1
主结线方案编号		91	92	93	94	95	96
主 结 线 方 案							
	用 途	电压互感器兼左右联络			电压互感器兼架空进出线及联络		
主要电 气设 备型 号规 格及 数 量	LCZ-35 电流互感器		1	2	3		1
	JDJ2-35 电压互感器	3	3	3	3	3	3
	RN2-35 熔断器	3	3	3	3	3	3
	CB-35 穿墙套管					6	6
	大附柜					1	1
	小附柜	1	1	1	1		

(续)

主结线方案编号	97	98	99	100	101	102
主结线方案						
用途	电压互感器兼架空进 出线及左右联络		电压互感器 兼左右联络	所用变压器		避雷器
主要电气设备型号规格及数量	LCZ-35 电流互感器	2	3			
	LMZ1-0.5, 100/5 电流互感器			3	3	
	JDJ2-35 电压互感器	3	3	3		
	RN2-35熔断器	3	3	3		
	RL1-100熔断器				3	3
	RW10-35/3 限流熔断器				3	3
	S7-50-35/0.4 变压器				1	1
	CJ20-100/3 交流接触器				1	1
	DZ20J-100 低压断路器				5	5
	CB-35穿墙套管	6	6		6	
	FZ3-35避雷器 带JS-8 放电记录器					
大附柜	1	1		1		
小附柜			1			

(续)

主结线方案编号	103	104	105	106	107	108	
主结线方案							
用途	避雷器兼 电缆进出线	避雷器兼左右联络			避雷器兼架空进 出线及左右联络		
主要电气设备型号规格及数量	LCZ-35 电流互感器		2	3		2	
	FZ3-35 避雷器	3	3	3	3	3	
	JS-8 放电记录器	3	3	3	3	3	
	CB-35 穿墙套管					6	6
	大附柜	1	1			1	1
	小附柜			1	1		

(续)

主结线方案编号	109	110	111	112	113	114	
主结线方案							
用途	同 108 号	避雷器及电压互感器			同 108 号	左(右)联络	
主要电气设备型号规格及数量	LCZ-35 电流互感器	3				3	
	JDJ2-35 电压互感器		1	2			
	JDJJ2-35 电压互感器				3		
	RN2-35 熔断器		2	3	3		
	FZ3-35 避雷器	3				3	
	JS-8 放电记录器	3	3	3	3	3	
	Y5W3-42/134 氧化锌避雷器		3	3	3		
	SN10-35 I ZN23-35 LN2-35	断路器					1
	CD10 M CT10 CT12 I	操动机构					1
	JN-35 接地开关						1
CB-35 穿墙套管	6				6		
大附柜	1				1	1	

(续)

主接线方案编号		115	116	117	Y1 后柜	Y2 后柜	RC1 后柜
主接线方案							
用途		备用手车柜 (非标)			真空断路器过电压保护 (非标)		
主要电气设备型号规格及数量	SN10-35 I ZN23-35 LN2-35	断路器	1	1	1		
	CD10W CT10 CT12 I	操动机构	1	1	1		
	LCZ-35 电流互感器						
	JN-35 接地开关						
	Y01W-41/127 三相式氧化锌 避雷器				1	1	
	JS-8 放电记录器				4	4	
	R 电阻器						3
	C 电容器						3
	CB-35 穿墙套管	6			3		3
	大附柜	1					
小附柜		1					
备注					与 01~11、 34~37 拼柜	与 12~22 拼柜	与 01~11、 34~37 拼柜

四、供电系统的主要设备及其选择(ZY4)

(续)

主结线方案编号	RC2 后柜	82 (J)	86 (J1)	86 (J2)	03 (J1)	03 (J2)	
主结线方案							
用途	真空断路器过电压保护 (非标)	高压计量柜 (非标)					
主要电气设备型号规格及数量	R 电阻器	3					
	C 电容器	3					
	JLS4-35 (0.2 级) 组合互感器			1		1	
	JDJ-35 (0.2 级) 电压互感器		2		2		
	RN2-35 熔断器		3		3		
	LCZ-35 (0.2 级) 电流互感器		2		2	4	
	CB-35 穿墙套管			6	6	6	6
	大附柜			1	1		
	小附柜		1				
计量附柜					1	1	
备注	与 12~22 拼柜	可与 34~37 组成受馈电计量柜	①可与 23~33 组合使用 ②86 (J1) 只作馈电计量柜	①主柜设备按 03 号选择 ②03 (J1) 只可作馈电计量柜			

(四) 低压电器及其选择

1. 低压电器的类型、结构特点及其应用范围 如表 ZY4-24 所示。

表 ZY4-24 低压电器的类型、结构特点及其应用范围

序号	类别	结构特点	应用范围
1	低压断路器 (参看表 JC11-1 序号 81~83)		
1.1	万能式低压断路器 (DW 型及 ME 型、AH 型等)	<p>①为框架式结构, 主要部件是敞露可见的, 因此又有“框架式低压断路器 (自动开关)”之称</p> <p>②有手柄操作、杠杆操作、电磁铁合闸操作、电动机合闸操作等多种操作方式</p> <p>③有非选择型和选择型两种保护方案。非选择型为短路瞬时脱扣, 其保护特性曲线 (安-秒曲线) 如图 a 所示。选择型有两段保护和三段保护, 其保护特性曲线分别如图 b 和图 c 所示</p> <p>④电流容量较大, 可达 4000A 及以上, 其断流能力也较大, 但分断速度较慢, 断路时间 (含灭弧时间) 一般大于 0.02s</p> <p>⑤可灵活地选择装设地点, 配电装置内、墙上或支架上均可</p> <p>⑥体积较大, 较重</p>	<p>主要用作配电变压器低压总开关及低压母线分段主开关、低压出线主开关</p>
1.2	塑料外壳式低压断路器 (DZ 型及 H 型等)	<p>①为封闭式结构, 除操作手柄外露外, 其余部件均装在封闭的塑料外壳之内</p> <p>②主要为手柄操作, 容量较大的亦有电动机合闸操作</p> <p>③保护方案主要为两段保护 (参看序号 1.1 图 b), 即具有热脱扣器和电磁脱扣器两种保护</p> <p>④电流容量较小, 最大只 1000A 左右, 其断流能力也较小, 但分断速度较快, 断路时间 (含灭弧时间) 一般不大于 0.02s</p> <p>⑤一般只装设在低压配电装置之内, 因此又有“装置式”之称</p> <p>⑥体积较小, 重量较轻</p>	<p>主要用作低压动力和照明负荷的配电开关。另有漏电断路器 (又称“漏电开关”或“漏电保护器”), 专作低压电路的单相接地故障保护, 以保触电安全</p>
2	低压负荷开关 (参看表 JC11-1 序号 75)		
2.1	封闭式负荷开关 (HH 型)	<p>①由刀开关与熔断体串联组合而成</p> <p>②外装封闭式铁壳, 俗称“铁壳开关”</p>	用于低压小负荷电路的通断, 兼短路保护
2.2	开启式负荷开关 (HK 型)	<p>①由刀开关与熔断体串联组合而成</p> <p>②外装开启式胶盖, 俗称“胶盖开关”</p>	

(续)

序号	类别	结构特点	应用范围
3	低压刀开关 (参看表 JC11-1 序号 74)		
3.1	单投刀开关 (HD 型)	①其闸刀单向闭合 ②有手柄直接操作和杠杆传动操作两种 ③有装有灭弧罩和未装灭弧罩的两种	有灭弧罩的可带小负荷操作, 无灭弧罩的只作隔离开关用
3.2	双投刀开关 (HS 型)	①其闸刀可双向通断, 切换电路 ②其余同序号 3.1	同序号 3.1, 但用于电路切换操作
3.3	熔断器式刀开关 (HR 型)	①其闸刀上带有熔断体 (如 RTO 型), 因此又称“刀熔开关” ②一般装有灭弧罩, 亦有手柄直接操作和杠杆传动操作两种	用于低压小负荷电路的通断, 兼短路保护
4	低压熔断器 (参看表 JC11-1 序号 41~43)		
4.1	限流式熔断器 (RT、RS 等型)	①熔件一般为导热性好、热容量小的铜、银等金属材料 ②通常熔件上焊锡, 利用其“冶金效应” (参看表 ZY4-1 序号 7) 来改善其保护性能 ③熔断管内一般充填石英砂, 以改善灭弧性能	用于要求快速断开短路、断流能力要求较大及同时要求能保护过负荷的场所
4.2	非限流式熔断器 (RC、RM 等型)	①熔件一般为导热性较差、热容量较大的铅、锡、锌等金属材料 ②熔断管内不充填石英砂	用于断流能力要求较小及次要场所
5	低压仪用互感器		
5.1	电流互感器	①一般为干式结构 ②母线式电流互感器无一次绕组, 只有二次绕组, 安装时, 母线贯穿其铁心窗孔就作为一次侧 (其余参看表 JC11-16)	用于低压电路中的电流、功率和电能测量及电流保护
5.2	电压互感器	①一般为干式结构 ②多为单相双绕组 (其余参看表 JC11-16)	用于低压电路中的电压、功率和电能测量

2. 低压电器的选择与校验 低压电器选择校验的项目如表 ZY4-25 所示; 其选择校验的条件如表 ZY4-26 所示。关于供电系统中常用低压电器的技术数据, 可参看文献 [3] 或其它手册。

表 ZY4-25 低压电器选择校验的项目

序号	电器名称	额定电压	额定电流	额定开断电流	短路电流校验		环境条件	其它
					动稳定	热稳定		
1	断路器	✓	✓	✓	✗	✗	✓	操作性能
2	负荷开关	✓	✓	✓	✗	✗	✓	操作性能
3	刀开关	✓	✓	(✓)	✗	✗	✓	操作性能
4	刀熔开关	✓	✓	✓	—	—	✓	操作性能
5	熔断器	✓	✓	✓	—	—	✓	前后级间配合
6	电流互感器	✓	✓	—	✓	✓	✓	二次侧负荷、准确度级

(续)

序号	电器名称	额定电压	额定电流	额定开断电流	短路电流校验		环境条件	其它
					动稳定	热稳定		
7	电压互感器	√	—	—	—	—	√	二次侧负荷、准确度级
8	支柱绝缘子	√	—	—	√	—	√	—
9	套管绝缘子	√	√	—	√	√	√	—
10	母线	—	√	—	√	√	√	—
11	电缆	√	√	—	—	√	√	—

注：表中“√”表示为选择校验的必需项目，“×”表示为可不校验项目，“—”表示为不需校验项目。

表 ZY4-26 低压电器选择校验的条件

序号	项目	选择校验条件														
1	按工作电压选择	电器额定电压 $U_{N,e}$ 应不低于所在电路额定电压 U_N ，即 $U_{N,e} \geq U_N$														
2	一般电器	电器额定电流 $I_{N,e}$ 应不小于所在电路的计算电流 I_{30} ，即 $I_{N,e} \geq I_{30}$														
	按工作电流选择	①熔体电流 $I_{N,FE}$ 应不小于电路的计算电流 I_{30} ，即 $I_{N,FE} \geq I_{30}$ ②熔体电流 $I_{N,FE}$ 应躲过电路的尖峰电流 I_{pk} (按表 ZY2-21 所列公式计算)，即 $I_{N,FE} \geq K I_{pk}$ 式中， $K \leq 1$ 为计算系数： 轻载起动电动机 $K=0.25 \sim 0.3$ 重载起动电动机 $K=0.35 \sim 0.5$ 频繁起动和反接制动电动机 $K=0.5 \sim 0.6$ 供多台电动机 $K=0.5 \sim 1$ ③熔体电流 $I_{N,FE}$ 应与被保护线路配合，以免线路过负荷引起过热甚至绝缘燃烧而熔体不熔断，因此应满足下列条件： $I_{N,FE} \leq K_{OL} I_{al}$ 式中， I_{al} 为导线或电缆的允许载流量； K_{OL} 为导线或电缆的允许短时过负荷系数，取值如下： 如熔断器只作短路保护时，对电缆和穿管绝缘导线，取 $K_{OL}=2.5$ ；对明敷绝缘导线，取 $K_{OL}=1.5$ 如熔断器同时作短路保护和过负荷保护时，应取 $K_{OL}=1$														
	熔断器的熔体额定电流选择	应按下式选择： $I_{N,FE} \geq K_I \cdot I_{30}$ 式中， $K_I \geq 1$ 为计算系数，按下表取值 计算系数 K_I 值 <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">熔断器类型</th> <th colspan="3">$K_I = I_{N,FE} / I_{30}$</th> </tr> <tr> <th>白炽灯、卤钨灯、荧光灯、金属卤化物灯</th> <th>高压汞灯</th> <th>高压钠灯</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RC1A</td> <td>1</td> <td>1.0~1.5</td> <td>1.1</td> </tr> <tr> <td>RL、NT</td> <td>1</td> <td>1.3~1.7</td> <td>1.5</td> </tr> </tbody> </table>	熔断器类型	$K_I = I_{N,FE} / I_{30}$			白炽灯、卤钨灯、荧光灯、金属卤化物灯	高压汞灯	高压钠灯	RC1A	1	1.0~1.5	1.1	RL、NT	1	1.3~1.7
熔断器类型	$K_I = I_{N,FE} / I_{30}$															
	白炽灯、卤钨灯、荧光灯、金属卤化物灯	高压汞灯	高压钠灯													
RC1A	1	1.0~1.5	1.1													
RL、NT	1	1.3~1.7	1.5													

(续)

序号	项 目		选 择 校 验 条 件											
2	按工作电流选择	熔断器的熔断器	保护变压器的熔断器熔体电流 $I_{N,FE}$ 应躲过变压器的允许过负荷电流和励磁涌流, 因此应按下列经验公式选择: $I_{N,FE} = (1.5 \sim 2) I_{1N,T}$ 式中, $I_{1N,T}$ 为变压器一次额定电流											
		保护电容器的熔断器	保护并联电容器的熔断器熔体电流 $I_{N,FE}$ 应躲过电容器的合闸电流, 一般应按下列公式选择: $I_{N,FE} = K_C I_{N,C}$ 式中, $I_{N,C}$ 为电容器的额定电流; K_C 为计算系数, 按下表取值 计算系数 K_C 值 <table border="1" style="width: 100%; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th>限流熔断器保护</th> <th>$K_C = \frac{I_{N,FE}}{I_{N,C}}$ 值</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>一台电容器</td> <td>1.5~2.0</td> </tr> <tr> <td>一组电容器</td> <td>1.3~1.8</td> </tr> </tbody> </table>	限流熔断器保护	$K_C = \frac{I_{N,FE}}{I_{N,C}}$ 值	一台电容器	1.5~2.0	一组电容器	1.3~1.8					
		限流熔断器保护	$K_C = \frac{I_{N,FE}}{I_{N,C}}$ 值											
一台电容器	1.5~2.0													
一组电容器	1.3~1.8													
其它	保护电压互感器的熔断器熔体电流 $I_{N,FE} = 0.5A$													
3	按开断电流选择	低压断路器	动作时间大于 0.02s 其极限分断电路 I_α 应不小于其装设地点的三相短路电流周期分量有效值 $I_1^{(3)}$, 即 $I_\alpha \geq I_1^{(3)}$											
		动作时间不大于 0.02s	其极限分断电流 I_α 或 i_α 应不小于其装设地点的三相短路冲击电流有效值 $I_k^{(3)}$ 或瞬时值 $i_k^{(3)}$, 即 $I_\alpha \geq I_k^{(3)}$ 或 $i_\alpha \geq i_k^{(3)}$											
		限流式	其最大开断电流 I_α 应不小于其装设地点的三相短路次暂态电流 $I''^{(3)}$, 即 $I_\alpha \geq I''^{(3)}$											
		非限流式	其最大开断电流 I_α 或 i_α 应不小于其装设地点的三相短路冲击电流有效值 $I_k^{(3)}$ 或瞬时值 $i_k^{(3)}$, 即 $I_\alpha \geq I_k^{(3)}$ 或 $i_\alpha \geq i_k^{(3)}$											
	低压负荷开关、刀熔开关及装有灭弧罩的刀开关	其最大开断电流 I_α 应不小于其可能开断的最大过负荷电流 $I_{OL \cdot max}$, 即 $I_\alpha \geq I_{OL \cdot max}$												
4	按使用环境条件选择	多尘环境 (参看右表) 的电器选择 <table border="1" style="width: 100%; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th>级别</th> <th>灰尘月平均沉降量 / ($mg \cdot m^{-2} \cdot d$)</th> <th>环境说明</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I</td> <td>10~100</td> <td>清洁环境</td> </tr> <tr> <td>II</td> <td>300~550</td> <td>一般多尘环境</td> </tr> <tr> <td>III</td> <td>≥ 550</td> <td>多尘环境</td> </tr> </tbody> </table> <p style="margin-top: 5px;">注: 表中单位字母“d”为“日”的符号</p>	级别	灰尘月平均沉降量 / ($mg \cdot m^{-2} \cdot d$)	环境说明	I	10~100	清洁环境	II	300~550	一般多尘环境	III	≥ 550	多尘环境
级别	灰尘月平均沉降量 / ($mg \cdot m^{-2} \cdot d$)	环境说明												
I	10~100	清洁环境												
II	300~550	一般多尘环境												
III	≥ 550	多尘环境												

(续)

序号	项 目	选 择 校 验 条 件				
		电气设备类别	户内环境类别			
			0类	1类	2类	
4	化工腐蚀环境(参看表ZY4-28)的电器选择	户内腐蚀环境的电器选择	配电装置及控制设备	封闭型	F1级防腐型	F2级防腐型
			控制电器(按钮、信号灯、插座等)及仪表	封闭型、保护型或密闭型	F1级防腐型	F2级防腐型
			电力变压器	普通型或全密闭型	全密闭型或防腐型	—
			电动机	基本系列(如Y系列)	F1级专用系列	F2级专用系列
			灯具	普通型或防水防尘型	防腐型	防腐型
			绝缘导线	塑料绝缘导线	塑料护套导线	塑料护套导线
			电缆	塑料外护层电缆	塑料外护层电缆	塑料外护层电缆
			电缆桥架	普通型	F1级防腐型	F2级防腐型
			户外腐蚀环境的电器选择	电气设备类别	户外环境类别	
				0类	1类	2类
			配电装置及控制设备	W级户外型	WF1级户外防腐型	WF2级户外防腐型
			控制电器(按钮、信号灯、插座等)及仪表	W级户外型	WF1级户外防腐型	WF2级户外防腐型
			电力变压器	普通型或全密闭型	全密闭型或防腐型	—
			电动机	W级户外型	WF1级专用系列	WF2级专用系列
			灯具	防水防尘型	户外防腐型	户外防腐型
			导线	塑料绝缘导线	塑料绝缘导线(1kV以上架空线采用防腐钢芯铝线)	
			电缆	塑料外护层电缆	塑料外护层电缆	塑料外护层电缆
			电缆桥架	普通型	WF1防腐型	WF2防腐型
		附注	上列W、WF1、WF2、F1、F2等五种防腐电工产品的使用环境条件参看表ZY4-30			
	高原地区(海拔超过2000m的地区)的电器选择	①采用相应的高原型电器(产品型号未标“GY”或“G”者) ②采用普通型电器,应适当降低容量使用				
	热带地区(参看表ZY4-31)的电器选择	①湿热带地区宜选用湿热带型电器(产品型号未标“TH”者) ②干热带地区宜选用干热带型电器(产品型号未标“TA”者)				

(续)

序号	项 目	选 择 校 验 条 件						
		电气设备类别	爆炸危险环境类别					
			0区	1区	2区	10区	11区	
4	爆炸危险环境 (参看表 ZY4-32) 的电器选择	电 机		隔爆型、正压型	隔爆、正压、增安型	尘密、正压防爆型	IP54	
		电 器 和 仪 表	固定安装		隔爆型	隔爆型	尘密、正压防爆型	IP65
			移动式				尘密、正压防爆型	
			携带式				尘密型	
		灯 具	固定安装及移动式		隔爆型	隔爆型、增安型	尘密型	尘密型
			携带式		隔爆型	隔爆型		
		变 压 器				隔爆、正压、增安型	尘密、正压防爆、无油防爆型	尘密型
		操 作 箱			隔爆、正压型	隔爆、正压型	尘密、正压防爆型	
		控 制 盘	本质安全型 (按钮)					
		配 电 盘						
	按使用环境条件选择	火灾危险环境 (参看表 ZY4-32) 的电器选择	电 气 设 备 类 别	火 灾 危 险 环 境 类 别				
				21 区		22 区	23 区	
			电 机	固定安装	IP44 附注 ^①		IP54	IP21 附注 ^②
				移动式和携带式	IP54			IP54
电 器 和 仪 表			固定安装	充油、IP56、IP65、IP44 附注 ^③		IP65	IP22	
			移动式和携带式	IP56、IP65			IP44	
灯 具			固定安装	保护型		防尘型	开启型	
			移动式和携带式 附注 ^④	防尘型			保护型	
配 电 装 置			防尘型		防尘型	保护型		
接 线 盒			防尘型		防尘型	保护型		
附 注	①在 21 区内, 固定安装的 IP44 型电机正常运行时有火花的部件 (如滑环), 应装在全封闭的罩内 ②在 23 区内, 固定安装的正常运行时有火花的电机 (如滑环电机), 不应采用 IP21 型, 而应采用 IP44 型 ③在 21 区内, 固定安装的电器和仪表在正常运行有火花时, 不宜采用 IP44 型 ④移动式和携带式灯具的玻璃罩, 应有金属网保护							

注: 关于电流互感器、电压互感器、支柱绝缘子、套管绝缘子、母线、电缆等的选择校验, 参看表 ZY4-9, 此略。

(五) 电器使用环境条件及其分类

1. 选择电器和导体的环境温度 如表 ZY4-27 所示。

表 ZY4-27 选择电器和导体的环境温度

序号	类别	安装场所	环 境 温 度	
			最 高	最 低
1	裸导体	户外	最热月平均最高温度	
		户内	最热月平均最高温度加 5℃	
2	电缆	户外电缆沟	最热月平均最高温度	年最低温度
		户内电缆沟	最热月平均最高温度加 5℃	
		电缆隧道	最热月平均最高温度	
		直埋电缆	最热月的平均地温(取最热月的地下 0.8~1m 处的月平均土壤温度)	
3	电器	户外	年最高温度	年最低温度
		户内	一般取最热月平均最高温度加 5℃(户内电抗器应按其装设地点的通风设计最高排风温度)	

注: 表中所指各种温度均应取当地多年平均值。

2. 化学腐蚀环境分类及防腐电工产品的使用环境条件 化学腐蚀环境分类如表 ZY4-28 所示; 化学腐蚀性物质释放严酷度分级如表 ZY4-29 所示; 五类防腐电工产品的使用环境条件如表 ZY4-30 所示。

表 ZY4-28 化学腐蚀环境分类

序号	环境特征	类 别		
		0 类	1 类	2 类
		轻腐蚀环境	中等腐蚀环境	强腐蚀环境
1	化学腐蚀性物质的释放状况 ^①	一般无泄漏现象, 任一种腐蚀性物质的释放严酷度经常为 1 级, 有时(如事故或不正常操作时)可能达 2 级	有泄漏现象, 任一种腐蚀性物质的释放严酷度经常为 2 级, 有时(如事故或不正常操作时)可能达 3 级	泄漏现象较严重, 任一种腐蚀性物质的释放严酷度经常为 3 级, 有时(如事故或不正常操作时)偶然超过 3 级
2	地区最湿月平均最高相对湿度(25℃) ^②	65%及以上	75%及以上	85%及以上
3	操作条件	由于风向关系, 有时可闻到化学物质气味	经常能感到化学物质的刺激, 但不需配戴防护器具进行正常的工艺操作	对眼睛和外呼吸道有强烈刺激, 有时需配戴防护器具才能进行正常的工艺操作
4	表面现象	建筑物和工艺、电气设施只有一般锈蚀现象, 工艺和电气设施只需常规维修; 一般树木生长正常	建筑物和工艺、电气设施腐蚀现象明显, 工艺和电气设施一般需年度大修; 一般树木生长不好	建筑物和工艺、电气设施腐蚀现象严重, 设备大修间隔期较短, 一般树木成活率低
5	通风情况	通风条件正常	自然通风良好	通风条件不好

① 化学腐蚀性物质释放严酷度分级, 参看表 ZY4-29。

② 如果地区最湿月平均最低温度低于 25℃时, 其同月平均最高相对湿度必须换算到 25℃时的相对湿度。

表 ZY4-29 化学腐蚀性物质释放严酷度分级

序号	化学腐蚀性物质名称		级 别		
			1 级	2 级	3 级
1	气体及其释放的质量浓度 / (mg·m ⁻³)	氯气 (Cl ₂)	>0.1~0.3	>0.3~1	>1~3
		氯化氢 (HCl)	>0.1~0.5	>0.5~1	>1~5
		二氧化硫 (SO ₂)	>0.1~1	>1~10	>10~40
		氮氧化物 (折算成 NO ₂)	>0.1~1	>1~10	>10~20
		硫化氢 (H ₂ S)	>0.01~0.5	>0.5~10	>10~70
		氟化物 (折算成 HF)	>0.003~0.03	>0.03~0.3	>0.3~2
		氨气 (NH ₃)	>0.3~3	>3~35	>35~175
2	雾	酸雾 (硫酸、盐酸、硝酸) 碱雾 (氢氧化钠)	—	有时存在	经常存在
3	液体	硫酸、盐酸、硝酸 氢氧化钠 食盐水、氨水	—	有时滴漏	经常滴漏
4	粉尘	腐蚀性悬浮粉尘	微量	少量	大量
5	土壤	pH 值	>6.5~<8.5	4.5~6.5	<4.5~>8.5
		有机质 (%)	<1	1~1.5	>1.5
		硝酸根离子 (%)	<1×10 ⁻⁴	1×10 ⁻⁴ ~1×10 ⁻³	>1×10 ⁻³
		电阻率 / (Ω·m)	>50~100	23~50	<23

注：化学腐蚀性气体释放的质量浓度系历年最湿月在电气装置安装现场实测到的平均最高质量浓度值。实测处距化学腐蚀性气体释放口一般要求在 1m 以外，不应紧靠释放源。

表 ZY4-30 五类防腐电工产品的使用环境条件

序号	环 境 参 数		级 别				
			W	WF1	WF2	F1	F2
1	空气温度/℃	最高	+40			+40	
		最低	-20, -35			-5	
2	最高相对湿度 (%)	100			95		
3	太阳辐射 / (W·m ⁻²)	1120			700		
4	周围空气运动速度 / (m·s ⁻¹)	30			10		
5	降雨强度 / (mm·min ⁻¹)	6			—		
6	凝露	有			有		
7	结冰 (霜) 条件	有			有		
8	溅水条件	有			有		

(续)

序号	环境参数		级别				
			W	WF1	WF2	F1	F2
9	化学气体的质量浓度 ^① /mg/m ³	二氧化硫 (SO ₂)	0.3	5.0	13	5.0	13
		硫化氢 (H ₂ S)	0.1	3.0	14	3.0	14
		氟气 (Cl ₂)	0.1	0.3	0.6	0.3	0.6
		氯化氢 (HCl)	0.1	1.0	3.0	1.0	3.0
		氟化氢 (HF)	0.01	0.05	0.1	0.05	0.1
		氨气 (NH ₃)	1.00	10	35	10	35
		氟化氮 (换算为 NO ₂ 值)	0.5	3.0	10	3.0	10
10	砂尘的质量浓度 ρ	砂 ρ / (mg/m ³)	300	1000	4000	300	1000
		尘 (飘浮) ρ / (mg/m ³)	5.0	15	20	0.4	4.0
		尘 (沉底) ρ / (mg/m ² ·d)	500	1000	2000	350	1000

① 化学气体质量浓度一律采用平均值, 即长期测定值的平均值。

3. 热带型电工产品的使用环境条件 如表 ZY4-31 所示。

表 ZY4-31 热带型电工产品的使用环境条件

序号	环境因素		湿热带型	干热带型
1	海拔高度/m		≤2000	≤2000
2	空气温度/℃	年最高	40	45
		年最低	0	-5
3	空气相对湿度 (%)	最湿月平均最大相对湿度	95 (25℃时)	—
		最干月平均最小相对湿度	—	10 (40℃时)
4	凝 露		有	—
5	霉 菌		有	—
6	砂 尘		—	有

4. 爆炸和火灾危险环境的分区 按 GB50058—92《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》规定, 爆炸和火灾危险环境的分区如表 ZY4-32 所示。

表 ZY4-32 爆炸和火灾危险环境的分区 (据 GB50058—92)

序号	类别	分区	环境特征
1	爆炸性气体环境危险区域	0区	连续出现或长期出现爆炸性气体混合物的环境
		1区	在正常运行时可能出现爆炸性气体混合物的环境
		2区	在正常运行时不可能出现爆炸性气体混合物的环境, 或即使出现也只是短时存在的爆炸性气体混合物的环境
2	爆炸性粉尘环境危险区域	10区	连续出现或长期出现爆炸性粉尘环境
		11区	有时会将积留下的粉尘扬起而偶然出现爆炸性粉尘混合物的环境

(续)

序号	类别	分区	环境特征
3	火灾危险环境	21区	具有闪点高于环境温度的可燃液体,在数量和配置上能引起火灾危险的环境
		22区	具有悬浮状、堆积状的可燃粉尘或可燃纤维,虽不可能形成爆炸混合物,但在数量和配置上能引起火灾危险的环境
		23区	具有固体状可燃物质,在数量和配置上能引起火灾危险的环境

主要参考文献

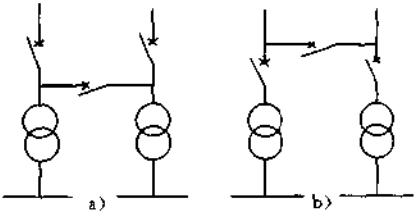
- 1 刘介才编. 工厂供电(第2版). 北京: 机械工业出版社, 1991
- 2 苏文成主编. 工厂供电(第2版). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 3 刘介才主编. 工厂供电简明设计手册. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 4 中国航空工业规划设计研究院等编. 工业与民用配电设计手册. 北京: 水利电力出版社, 1994
- 5 中国大百科全书电工编委会编. 中国大百科全书. 电工卷. 北京、上海: 中国大百科全书出版社, 1992
- 6 国家标准 GB50054—95 低压配电设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1996
- 7 国家标准 GB50058—92 爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1992
- 8 国家标准 GB50060—92 3~110kV 高压配电装置设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1993
- 9 行业标准 JGJ/T16—92 民用建筑电气设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1993
- 10 行业标准 JBJ6—96 机械工厂电力设计规范. 北京: 机械工业出版社, 1997

五、供电系统的结线和结构 (ZY5)

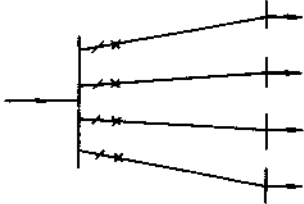
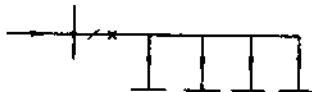
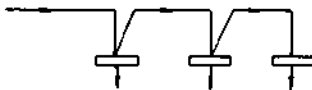
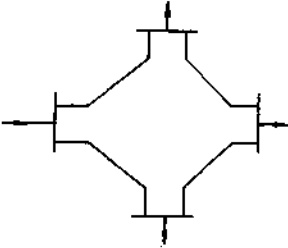
(一) 有关供电系统结线和结构的名词术语

有关供电系统结线和结构的名词术语, 如表 ZY5-1 所示。

表 ZY5-1 有关供电系统结线和结构的名词术语

序号	名词术语	含义说明
1	结线 connection	指电气设备之间的连接电路。亦作“接线”。与“电路”同义
2	主结线 main connection	指供电系统中一次设备之间的连接电路, 亦即给电力用户输送和分配电能的电路。亦作“主接线”, 或称“一次结线”或“一次接线”。与“主电路”或“一次电路”、“一次回路”等同义
3	二次结线 secondary connection	指供电系统中二次设备之间及与互感器二次侧连接的电路, 亦即用来控制、指示、测量和保护一次电路和一次设备运行的辅助电路。亦作“二次接线”。与“二次电路”或“二次回路”同义
4	单母线结线 single busbar connection	指变配电装置中只有一组三相母线的结线
5	双母线结线 double busbar connection	指变配电装置中具有两组并行的三相母线的结线
6	桥形结线 bridging connection	<p>指并联的两组三相线路(通常为电源进线)之间具有横向连接线的结线。这横向连接线称为“桥结线”, 如果桥结线在电源进线的断路器与电力变压器之间, 则称为“内桥结线”, 如图 a 所示。如果桥结线不在进线断路器与电力变压器之间而在进线断路器之外, 则称为“外桥结线”, 如图 b 所示(图上略去隔离开关, 详见表 ZY5-3 序号 3、4。)</p> 
7	户外变电所 outdoor substation	<p>①指为能耐受户外气候条件而设计和安装的变电所 (IEC)</p> <p>②指电力变压器安装在户外场所的变电所, 含露天变电所、半露天变电所、杆上变电所等</p>
8	户内变电所 indoor substation	<p>①指安装在建筑物内, 不受户外气候条件影响的变电所 (IEC)</p> <p>②指电力变压器安装在建筑物内的变电所, 含车间内变电所、附设变电所、地下变电所等</p>

(续)

序号	名词术语	含义说明
9	杆上变电所 pole-mounted substation	指配电变压器安装在一根或几根电杆上的户外变电所, 或称“杆上变压器台”、“杆上变电台”
10	地下变电所 underground substation	指为在地下运行而设计建造的变电所
11	有人值班变电所 manned substation	指由驻在所内的电工人员就地维护和操作的变电所
12	无人值班变电所 unmanned substation	指由不驻在所内的电工人员进行维护和操作的变电所
13	遥控变电所 remotely controlled substation	指由遥控装置控制的无人值班变电所
14	放射式结线 radio type connection	<p>指由供电点直接向各负荷点供电的结线, 如图所示</p>  <p>[注] 线路上的“×”表示断路器, 而“/”表示隔离开关, 下同</p>
15	树干式结线 trunk type connection	<p>指由公用的供电线路分支向各负荷点供电的结线, 如图所示</p> 
16	链式结线 chain type connection	<p>指由供电点向第一个负荷点供电, 并经第一个负荷点向第二个负荷点供电……如此接连供电的结线, 如图所示。实质上与树干式相同</p> 
17	环形结线 ring connection	<p>指形成闭合回路的结线, 如图所示</p> 

(续)

序号	名 词 术 语	含 义 说 明
18	单回路 single loop	指对一供电点或负荷点只有一条三相线路的接线
19	双回路 double loop	指对一供电点或负荷点有并列的两条三相线路的接线
20	架空线路 over-head line	指送电导线装设在电杆上的线路。电杆竖立在地面上
21	电杆, 电线杆 electric pole	指支持送电导线的支柱, 是架空线路的重要组成部分
22	裸导线 bare wire	指表面没有被覆绝缘层的导线
23	绝缘导线 insulating wire	指表面被覆有绝缘层的导线。通常有橡皮绝缘导线和塑料绝缘导线
24	架空地线 over-head earth wire	指架设在电杆顶部并与大地直接相联用以防雷的一种导线, 又称“避雷线”
25	绝缘子 insulator	指用来支持导体(含导线)并使它与装置(含电杆和构架)相绝缘的部件
26	线路金具 over-head line fitting	指用于架空线路上连接导线、安装横担和绝缘子等的金属附件, 包括安装针式绝缘子的直脚和弯脚, 安装蝴蝶式绝缘子的穿芯螺钉, 将横担或拉线固定在电杆上的U形抱箍, 调节拉线松紧的花篮螺钉, 以及悬式绝缘子串的挂环、挂板、线夹等
27	横担 cross arm	指装设在电杆上部、用来安装绝缘子以架设导线的部件, 可视为电杆的一个组成部分
28	拉线 pulling line	指为了平衡电杆各方面的作用力并抵抗风压以防止电杆倒塌用的装置, 通常采用钢绞线
29	接户线 line connection	指由架空线路至建筑物第一个支持点之间的一段架空线
30	电缆 cable	指一种由一根或多根相互绝缘的导电芯线置于密闭护套之中、其外又可加保护覆盖层的特殊导线。主要敷设于地下或水中, 也可敷设于空中。用于输送电力的电缆, 称为“电力电缆”。用于控制回路的电缆, 称为“控制电缆”。用于电信通信的电缆, 称为“电信电缆”或“通信电缆”
31	电缆终端头 cable lug	指安装在电缆末端, 用来使电缆与其它电气设备或架空线路相连接, 并维持绝缘密封直至连接点的装置
32	电缆接头 cable joint	指连接电缆与电缆之间的导体、绝缘、屏蔽层和保护层的装置, 以使电缆线路连续。亦称“中间头”
33	电缆支架 cable brackets	指用来支撑电缆、一般是平行敷设的电缆的支架, 包括普通电缆支架和电缆桥架

198

198

(续)

序号	名词术语	含义说明
34	电缆桥架 cable tray	指由托盘(托槽)或梯架的直线段、非直线段、附件及支(吊)架等组合构成,用来支撑电缆,具有连续的刚性结构的系统
35	变电所构架 substation structures	指用来悬挂导线或支撑导体、开关设备和其它电器的刚性框架组件
36	母线槽 bus way	指装在封闭槽内的母线装置。母线之间用绝缘隔垫分开,外壳为铜质或铝合金冲制而成。它具有安装方便灵活、使用安全可靠等优点,在现代企业中应用较广
37	(控制开关的)操作机构 actuating system (of a control switch)	指控制开关中将操作力传送到其接触元件的机构。操作机构的操作方式可以是机械的、电磁的、电动的、液压的、气动的或热动的等。亦称“操动机构”
38	开关柜(板) switch board	指为接受和分配电能而装设在发电厂、变配电所和电力用户的高低压成套配电设备。它以支架和面板为基本结构,按一定的结线方案安装有关的开关电器及仪表、信号等。低压的开关柜又称“配电屏”或“配电盘”
39	控制台 control desk	指电力系统中,装有为控制及显示所需的控制器件的台。控制台上一般绘制有控制对象的模拟电路
40	计量柜 measuring board	指专用于计量电能用户每月耗用的有功电能和无功电能的成套设备(柜),其中装有专用于电能计量的电流互感器和电压互感器,面板上装有有功电度表和无功电度表。它通常靠近电源开关柜安装
41	继电保护柜 relay board	指专用于装设变电所继电保护和自动装置的成套设备(柜),其中装有各种继电器和自动装置以及相应的信息指示器件。在较大型的变配电所中,继电保护柜多集中装设在一个专门的房间内,此房间称为“继电保护室”或“继电保护间”
42	变电所控制室 substation control room	指变电所中为安放监视和控制所内各种设备所需设施的房间

(二) 供电系统主结线的要求及常见方案

1. 供电系统主结线的基本要求 如表 ZY5-2 所示。

表 ZY5-2 供电系统主结线的基本要求

序号	要求	说明
1	安全性	符合有关技术规范的要求,能充分保障人身和设备的安全 ①在高低压断路器的电源侧及可能反馈电能的另一侧,必须装设高压隔离开关或低压刀开关 ②35kV 及以上的线路末端,应装设与隔离开关联锁的接地刀闸 ③变配电所高压母线上及架空线路末端,必须装设避雷器。装于母线上的避雷器宜与电压互感器共用一组隔离开关。线路上的避雷器前不必装隔离开关

(续)

序号	要求	说明
2	可靠性	<p>满足电力负荷对供电可靠性的要求</p> <p>①对一级负荷,应考虑两个电源供电,当一个电源发生故障时,另一个电源应不致同时受到损坏。对一级负荷中特别重要的负荷,还必须增设应急电源(参看表ZY2-5序号2)</p> <p>②对二级负荷,应考虑双回路供电;在负荷较小或供电条件困难时,可采用一回6kV及以上专用架空线供电</p> <p>③接于公共干线上的变配电所,其电源进线首端应装设带有短路保护的开关设备</p> <p>④对工厂生产车间及重要单位的配电变电所,宜由工厂总变配电所或系统变配电所用放射式高压配电,而对工厂辅助车间及不重要单位的配电变电所,可采用树干式配电</p>
3	灵活性	<p>能适应供电系统所需的各种运行方式,操作维护简便,且能适应电力负荷的发展</p> <p>①6~35kV变配电所的母线,一般宜采用单母线或单母线分段接线</p> <p>②两路电源进线,装有两台主变压器的变电所,当两路电源同时供电时,两台主变一般分列运行;当采用一路电源供电、另一路电源备用时,则两台主变并列运行</p> <p>③主接线方案应与系统的经济运行要求相适应</p> <p>④主接线方案应考虑到今后5~10年的负荷扩展</p>
4	经济性	<p>在满足以上要求的前提下,尽量使主接线简单,投资少,运行费用低,并节约电能和有色金属消耗量</p> <p>①应尽可能采用技术先进、经济实用的节能电工产品</p> <p>②尽量采用开关设备较少的主接线方案,且尽量采用安全可靠和经济美观的成套配电装置。在供电可靠性要求不是很高时,宜尽量采用较廉价的固定式开关柜</p> <p>③应按有关规范或协议要求,在电源进线上装设专用的电能计量柜</p> <p>④应考虑无功功率的人工补偿,使功率因数达到规定的要求(参看表ZY2-20序号2.1)</p>

2. 35kV变电所常见的主接线方案 如表ZY5-3所示。

表ZY5-3 35kV变电所常见的主接线方案

序号	类别	接线图	说明
1	单母线接线		<p>采用一路电源进线(或一用一备)和两台主变压器,可用于昼夜负荷变动较大、宜于经济运行的情况及对二、三级负荷供电</p> <p>注:接线图中未表示出计量柜及互感器、避雷器等,下同</p>

(续)

序号	类别	结线图	说明
2	分段单母线结线		<p>采用两路电源进线和两台主变压器，可对一、二级负荷供电，35kV侧可有一、二条转送负荷的线路（详见本表序号6示例）</p>
3	内桥结线		<p>采用两路电源进线和两台主变压器，适用于电源线路较长及不需经常切换主变压器的情况，可对一、二级负荷供电</p>
4	外桥结线		<p>采用两路电源进线和两台主变压器，适用于电源线路较短及需要经常切换主变压器（例如实行经济运行方式时）的情况，可对一、二级负荷供电</p>

序号	类别	缩线图	说明
5	线路-变压器组接线		<p>采用一路电源进线和一主变压器,可用于对三级负荷供电,图a为最常用的接线;图b常用于35/0.4kV的直降变电所,如变电所二次侧没有其它电源时,则二次侧主断路器靠母线一边的隔离开关(对0.4kV为刀开关)可不要设</p>
6	示例:单母线分段 的35kV变电所接线图		<p>这种缩线图不考虑成套配电装置的安装位置而只按主电路电能输送顺序绘制,这种缩线图形式称为“系统式”</p>

3. 6~10kV 变电所常见的主结线方案 如表 ZY5-4 所示。

表 ZY5-4 6~10kV 变电所常见的主结线方案

序号	类别	结线图		说明	
1	由电力系统直接供电的 6~10kV 变电所				
1.1	高压侧为隔离开关-断路器结线	架空进线			<p>①此方案适于供电可靠性较高、要求快速停电和送电及主变压器容量较大的变电所</p> <p>②当变电所为户外式时，高压侧宜采用括号内方案，断路器采用户外式如 LW1-10 型或 DW5-10G 型</p> <p>③当无继电保护要求且不需带负荷操作时，低压侧主开关可采用刀开关或隔离开关</p>
		电缆进线			
1.2	高压侧为负荷开关-熔断器结线	架空进线			<p>①此方案适于供电可靠性较低、但要求带负荷操作的变电所</p> <p>②跌落式熔断器装于户外或电杆上</p> <p>③低压侧主开关亦可采用刀开关或隔离开关</p>
		电缆进线			
1.3	高压侧为隔离开关-熔断器结线	架空进线			<p>①当供电可靠性要求不高、主变压器容量不大于 630kV·A、不需频繁操作时可采用此方案</p> <p>②低压侧主开关必须采用低压断路器(自动开关)，以便带负荷停电和送电</p>
		电缆进线			

(续)

序号	类别	结线图	说明
1.4	高压侧两路电源, 均为隔离开关-断路器结线		<p>①此方案适用于有两个电源、负荷为一、二级的重要变电所</p> <p>②在高压侧断路器两侧均需装设隔离开关, 而在低压侧则低压断路器(自动开关)的母线侧必须装设刀开关或隔离开关, 以保证断路器的安全检修</p> <p>③低压母线分段开关如无自动切换要求, 可采用刀开关或隔离开关</p>
1.5	示例: 高压侧为隔离开关-断路器, 设专用计量柜、一段电缆引入的单台主变压器变电所结线图		<p>①按 GBJ63-90 规定: “装设在 63kV 以下的电力用户处电能计量点的计费电度表, 应设置专用的互感器”。又规定: “电力用户处的电能计量装置, 宜采用全国统一标准的电能计量柜”。序号 1.1~1.4 的结线图中未予表示, 本结线增加了计量柜</p> <p>②本结线完整地绘出了各种开关电器和电流、电压互感器等</p> <p>③低压侧的动力线路上只需装设一个电流互感器, 而照明线路、并联电容器线路及变压器低压总出线上则需装设三个电流互感器, 每相一个</p>

(续)

序号	类别	结线图		说明
2	由企业总变、配电所供电的6~10kV变电所			
2.1	户内式变电所 结线(一)	架空进线	电缆进线	<p>①这类变电所高压侧的主开关及其保护装置、测量仪表等通常装在总变配电所高压配电室内,因此其高压侧无开关或只装简单的开关电器,如隔离开关、负荷开关或跌开式熔断器等</p> <p>②跌开式熔断器和避雷器均装在变压器室外墙上</p> <p>③高压侧装有跌开式熔断器或只装隔离开关的变电所,其变压器容量不宜大于630kV·A,其它结线变压器容量可达1250kV·A</p> <p>④低压侧不需带负荷操作时,低压侧主开关可采用刀开关或隔离开关</p>
2.2	户内式变电所 结线(二)	架空进线	电缆进线	
2.3	户外式变电所 结线(一)	架空进线	电缆进线	<p>①这类变电所高压侧的主开关及其保护装置、测量仪表等也都装在总变配电所高压配电室内,因此其高压侧无开关或只装简单的开关电器</p> <p>②在变电所离总变配电所较远时,变压器为带负荷切换变压器,高压侧可装户外式断路器(如LW1-10型或DW5-10G型)</p> <p>③高压侧装有跌开式熔断器或只装隔离开关的变电所,其变压器容量不宜大于630kV·A,其它结线变压器容量可达1250kV·A</p> <p>④低压侧不需带负荷操作时,低压侧主开关可采用刀开关或隔离开关</p>

(续)

序号	类别	结线图	说明
2.4	户外式变电所 结线(二)		<p>①这类变电所高压侧的主开关及其保护装置、测量仪表等都装在总变电所高压配电室内,因此其高压侧无开关或只装简单的开关电器</p> <p>②在变电所离总变电所较远时,变压器为带负荷切换变压器,高压侧可装户外式断路器(如 LW1-10 型或 DW5-10G 型)</p> <p>③高压侧装有跌落式熔断器或只装隔离开关的变电所,其变压器容量不宜大于 $630\text{kV}\cdot\text{A}$,其它结线变压器容量可达 $1250\text{kV}\cdot\text{A}$</p> <p>④低压侧不需带负荷操作时,低压侧主开关可采用刀开关或隔离开关</p>
2.5	示例: 高压侧 双路电缆引入、 双台主变压器变 电所结线图		<p>①此方案适于对重要负荷供电,变压器容量可达 $1250\sim 1600\text{kV}\cdot\text{A}$</p> <p>②如变电所低压侧要实现双电源自动互投时,则低压分段单母线的联络开关应改用低压断路器(两侧有刀开关)</p> <p>③如变电所高压侧为架空进线时,则进线末端应装避雷器和隔离开关</p> <p>④本结线图未对低压出线作详细表示</p>
2.6	示例: 户外型 单台主变压器的 成套变电所结线 图		<p>这种结线图按高低压成套配电装置的安装位置顺序绘制。这种结线图形式称为“装置式”</p>

4. 6~10kV 配电所常见的主结线方案 如表 ZY5-5 所示。

表 ZY5-5 6~10kV 配电所常见的主结线方案

序号	类别	结线图	说明
1	单电源结线		<p>此方案适于对三级负荷供电。如有备用电源时，亦可对二级负荷供电</p>
2	双电源结线		<p>①此方案适于对一、二级负荷供电 ②母线分段开关采用断路器时，可带负荷操作，并可实现双电源自动互投。如不要求带负荷操作时，则分段开关可采用隔离开关</p>
3	示例：两路电缆进线的高压配电所结线图	<p style="text-align: center;">JYN2-10 型高压开关柜</p>	<p>①本方案采用 JYN2-10 型移开式高压开关柜组成 ②05 号柜为电缆进线兼计量柜 ③02 号柜为高压配电出线柜，供各车间变电所和高压电动机组等 ④03 号柜亦为高压配电出线柜，专供高压电容器 ⑤07 号柜与 12 号柜组合为母线分段柜 ⑥20 号柜为互感器、避雷器柜 ⑦高压配电出线柜（如 02、03 等）可按实际需要配置 ⑧本结线图绘制形式亦为“装置式”</p>

5. 高压配电线路常见的接线方式 如表 ZY5-6 所示。

表 ZY5-6 高压配电线路常见的接线方式

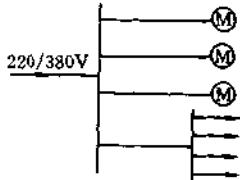
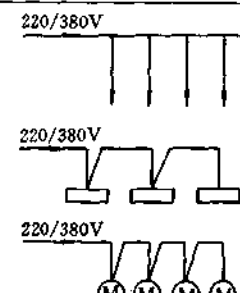
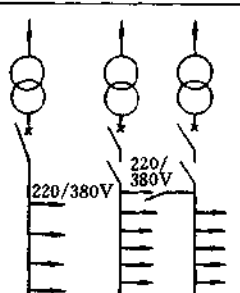
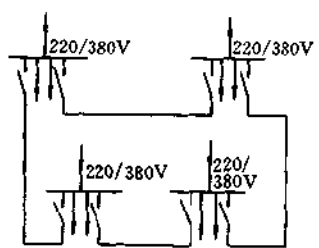
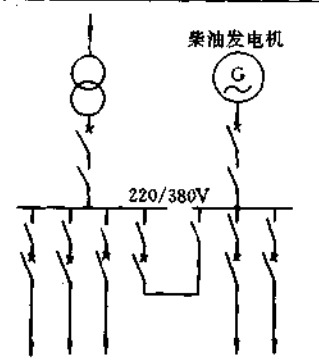
序号	类别	接线图	说明
1	放射式接线	<p>6~10kV</p>	<ul style="list-style-type: none"> ①各用户由单独线路供电 ②各线路互不影响, 可靠性高 ③高压开关设备多, 投资大 ④适于供较重要的和容量较大的负荷
		<p>6~10kV</p> <p>(备用)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ①增设公共备用线路进一步提高了供电可靠性 ②相应地增加了开关设备和导线材料消耗量, 进一步增加了投资
		<p>6~10kV</p>	<ul style="list-style-type: none"> ①供电可靠性进一步提高, 可供一、二级重要负荷 ②投资相应增加
		<p>6~10kV</p> <p>联络</p> <p>联络</p>	<ul style="list-style-type: none"> ①利用低压联络线作备用的方式比较经济灵活, 除了提高供电可靠性外, 还可实现变压器经济运行, 轻负荷时可切除, 而由联络线供电 ②在中小工厂中应用较广
2	树干式接线 (架空线)	<p>6~10kV</p>	<ul style="list-style-type: none"> ①多个用户由一条公用干线供电 ②各用户之间互有影响, 当干线故障时, 所有用户供电中断, 因此可靠性不高 ③高压开关设备和导线材料耗用少, 投资节省 ④适于负荷容量较小、不重要的用户供电

(续)

序号	类别	结线图	说明
2	树干式结线	<p>单树干式(电缆)</p>	<p>①多个用户由一条公用干线供电</p> <p>②各用户之间互有影响,当干线故障时,所有用户供电中断,因此可靠性不高</p> <p>③高压开关设备和导线材料耗用少,投资节省</p> <p>④适于负荷容量较小、不重要的用户供电</p>
		<p>有公共备用线的树干式</p>	<p>①增设公共备用线可提高供电可靠性</p> <p>②相应地增加了开关设备和导线材料消耗量,增加了投资</p>
		<p>双树干式</p>	<p>①可进一步提高供电可靠性,可供二级负荷</p> <p>②投资相应增加</p>
		<p>双电源的树干式</p>	<p>①这种双电源树干式实质上相当于开口环形结线。采用以负荷开关为主开关的高压环网柜,既能保证较高的供电可靠性,又经济灵活,是现代城市电网的一种主要结线方式和发展方向</p> <p>②可供二级负荷</p>
3	环形结线		<p>①环形供电实质上相当于双电源树干式供电,供电可靠性高,但继电保护比较复杂,整定配合也较困难</p> <p>②一般采取“开口运行”方式,即干线中间某处开关是断开的,相当于双电源树干式供电方式</p> <p>③通常采用以负荷开关为主开关的高压环网柜组成,特别适于城市电网</p>

6. 低压配电线路常见的结线方式 如表 ZY5-7 所示。

表 ZY5-7 低压配电线路常见的结线方式

序号	类别	结线图	说明
1	放射式结线		①配电线路互不影响,供电可靠性较高,但配电设备和导线材料耗用较多,且运行不够灵活;②主要用于容量大、负荷集中或重要的用电设备,或者需要集中联锁启动、停车的用电设备
2	树干式结线 (含链式)		①配电设备和导线材料耗用较少,运行灵活性好(特别采用母线槽时),但干线故障时影响范围大;②一般用于用电设备布置较均匀、容量不大的场合;③链式结线相连的用电设备一般不宜多于5台,总容量不宜超过10kW
3	变压器-干 线式结线		①除具有树干式结线的优点外,其结线更简单,能大量减少低压配电设备;②为了提高母干线的供电可靠性,应当减少接出的分支回路数,一般不超过10条;③不适用于频繁启动、容量较大的冲击负荷及对电压质量要求严格的用电设备
4	环形结线		①供电可靠性较高,任一段线路故障均不致造成停电,或只短时停电;②保护装置及其整定配合较复杂;③一般采用“开口”运行方式
5	采用柴油发 电机组作备用 电源的结线		①一般以6~10kV专用架空线为主电源,以快速启动型柴油发电机组为备用电源;②适用于从公用电网取得第二个电源有困难或不经济合理的重要负荷;③柴油发电机组不得与公用电网并列运行

(三) 变配电所的结构型式及所址选择

1. 变配电所的结构型式及其适用范围 如表 ZY5-8 所示。

表 ZY5-8 变配电所的结构型式及其适用范围

序号	类 型	特 点	适 用 范 围
1	独立变(配)电所	①与其它建筑有一定距离,不受其它建筑及其生产的影响;②基建投资大,占地面积宽;③运行维护条件好,安全可靠较高	适于工厂的总降压变电所、高压配电所及需远离有易燃易爆危险或有腐蚀性物质场所的变电所
2	车间内变电所	①变电所在车间内,处于负荷中心,可使低压配电线路最短,减少能耗和电压损耗;②防火安全要求提高,相应增大投资	适于车间建筑面积大,负荷重,且车间内的设备布置相当稳定的变电所
3	附设变电所	内附式 ①整个变电所位于建筑物内侧,建设投资较低;②不妨碍整个建筑的外观整齐;③安全可靠性好;④便于运行维护;⑤要占据室内(车间)一定的生产面积	适于房屋建筑(车间)面积不太大,且其中设备布置需经常调整变动的小型变电所(如车间变电所),在工业和民用建筑中应用较普遍
4		外附式 ①变电所位于建筑物外墙两侧或外侧,其主变压器装于墙外变压器室内,建设投资也较低;②对建筑的外观有些影响;③其余同内附式③、④、⑤	与内附式基本相同,但在工业和民用建筑中的应用不及内附式普遍
5	成套变电所	①利用成套设备(包括高低压开关柜、主变压器柜等)现场组装,安装方便;②运行维护方便,安全可靠高;③投资较大	适于各类工业和民用供电的变电所,户内户外均可,特别适于高层建筑供电
6	地下变电所	①整个变电所位于建筑的地下层,建设投资较高;②通风散热条件较差;③对电气设备防潮要求提高;④所址隐蔽安全	适于高层建筑、地下设施及有防空隐蔽特殊要求的变电所
7	楼层变电所	①变电所位于楼层之中,对电气设备的重量及防火要求提高,对楼层的承重也相应增加;②可接近负荷中心,技术经济性能好	适于高层建筑及地面面积有限的场所
8	露天变电所	①变压器露天装设,建筑费用低;②受户外环境及气候条件影响,运行维护条件较差;③安全可靠性较差	适于环境条件正常、无腐蚀性气体和导电粉尘且负荷不甚重要的变电所
9	半露天变电所	基本上与露天式相同,但由于其上方有顶板或挑檐遮雨蔽日,因此运行维护条件有所改善	
10	杆上变电所(杆上变压器台)	①变压器装设在电杆上,最为简单经济;②受户外环境及气候条件影响,运行维护条件差	适于变压器容量较小(一般在 315kV·A 及以下)、负荷不甚重要的变电所,主要供居民区用电

(续)

序号	类型	特点	适用范围
说明图	<p>注：图上各变电所的代号即本表各序号。“(5)”表示亦可采用成套变电所型式</p>		

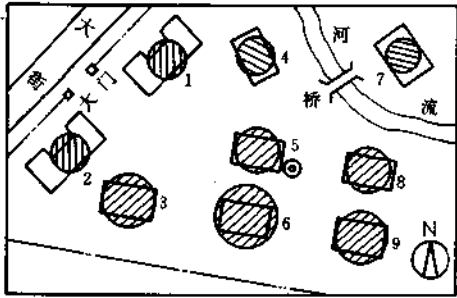
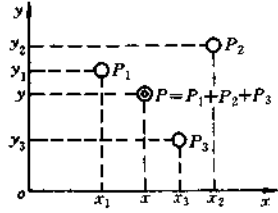
2. 变配电所所址的选择及负荷中心的确定 如表 ZY5-9 所示。

表 ZY5-9 变配电所所址的选择及负荷中心的确定

序号	项目	说明
1	变配电所所址的选择要求 (原则)	
1.1	接近负荷中心	这可缩短低压配电线路,降低线路的电能损耗、电压损耗和有色金属消耗量
1.2	进出线方便	特别是采用架空进出线时要考虑到这一点
1.3	接近电源侧	这对总降压变电所和高压配电所尤为重要
1.4	设备运输方便	考虑电力变压器和高压开关柜等大件的运输通道
1.5	不应设在有剧烈振动的场所	振动场所不仅影响变配电所本身建筑及其中设备的安全,而且可导致开关设备和继电保护、自动装置的误动作
1.6	不宜设在多尘或有腐蚀性气体的场所	尘埃特别是导电性尘埃将大大降低电气设备外部的绝缘水平,腐蚀性气体将严重腐蚀电气设备,因此应尽量远离这类场所,如无法远离时,也不应设在污染源的下风侧
1.7	不应设在厕所、浴室附近及地势低洼和可能积水的场所	变配电所的电气设备不能浸水受潮,而且有些管线、电缆是埋地或敷设在电缆沟内的,也不允许浸水,因此所址应避免厕所、浴室及地势低洼、可能积水的场所
1.8	不应设在有爆炸和火灾危险环境的正上方或正下方	变配电所内的很多电气设备也是易燃易爆物品,如果引发爆炸和火灾其后果将极其严重。当变配电所不得不毗连有爆炸和火灾危险的建筑物时,则应符合 GB50058—92《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》的规定
1.9	高层建筑地下层的变配电所,宜选择通风散热较好的场所	变配电所的通风散热条件好坏,直接影响其电气设备的安全运行和使用寿命,而地下层变配电所更应注意这一点,应尽量改善其通风散热条件
1.10	不应妨碍企业单位的发展,并适当考虑将来扩建的可能	所址的选择,既要不妨碍企业单位的发展,又要考虑到自身为适应单位发展而扩建的可能,对独立变配电所更要注意这一点

供 电 技 术 第 一 册

(续)

序号	项 目	说 明
2	电力负荷中心的确定	
2.1	利用负荷指示图确定负荷中心	<p>负荷指示图是将电力负荷按一定比例用负荷圆形式标明在变配电所供电的企业单位平面图上,各建筑的负荷圆圆心应与该建筑的负荷“重心”(负荷中心)大致相符。负荷圆的半径 r,可由该建筑的计算负荷 $P_{30}=K\pi r^2$,求得</p> $r=\sqrt{\frac{P_{30}}{K\pi}}$ <p>式中, K 为负荷圆的比例,单位为 kW/mm^2</p> <p>下图为一单位的负荷指示图</p>  <p>负荷圆比例: $1\text{mm}^2 \stackrel{\Delta}{=} \square \text{kW}$</p> <p>由负荷指示图可以直观地概括地判定该单位的负荷中心。图中的负荷中心大概在 5 号建筑的东侧 \odot 处</p>
2.2	按负荷功率矩法确定负荷中心(静态负荷中心算法)	<p>设负荷 P_1、P_2、P_3 (均表示其有功计算负荷) 分布如图所示。它们在任意选取的直角坐标系中的坐标分别为 (x_1, y_1)、(x_2, y_2)、(x_3, y_3)。现假定总的负荷 $P=\sum P_i=P_1+P_2+P_3$ 的负荷中心位于坐标 (x, y) 处。因此仿照《力学》中求重心的力矩方程可得</p> $x\sum P_i=P_1x_1+P_2x_2+P_3x_3=\sum (P_ix_i)$ $y\sum P_i=P_1y_1+P_2y_2+P_3y_3=\sum (P_iy_i)$ <p>因此可求得负荷中心的坐标为</p> $x=\frac{\sum (P_ix_i)}{\sum P_i}$ $y=\frac{\sum (P_iy_i)}{\sum P_i}$ 
2.3	按负荷电能矩法确定负荷中心(动态负荷中心算法)	<p>由于各负荷的工作时间不一定相同,因此负荷中心也就不是固定不变的。负荷中心不只是与各负荷的功率有关,而且与各负荷的工作时间有关,因此提出了按负荷电能矩来确定负荷中心的动态负荷中心算法。计算其负荷中心坐标 (x, y) 的公式为</p> $x=\frac{\sum (P_it_ix_i)}{\sum (P_it_i)}=\frac{\sum (A_it_ix_i)}{\sum A_it_i}$ $y=\frac{\sum (P_it_iy_i)}{\sum (P_it_i)}=\frac{\sum (A_it_iy_i)}{\sum A_it_i}$ <p>式中, P_i 为各负荷的有功计算负荷; A_i 为各负荷的年电能消耗量; t_i 为各负荷的年最大负荷利用小时</p>

(四) 变配电所的布置与结构

1. 变配电所的总体布置要求 如表 ZY5-10 所示。

表 ZY5-10 变配电所的总体布置要求 (据 GB50053—94)

序号	布置原则	具体要求
1	便于运行维护	<ul style="list-style-type: none"> ①有人值班的变配电所, 一般应设单独的值班室 ②值班室应尽量靠近高低压配电室, 且有门直通 ③如值班室靠近高压配电室有困难时, 则值班室可经走廊与高压配电室相通 ④值班室亦可与低压配电室合并, 但在值班人员经常工作的一面或一端, 低压配电装置到墙的距离不应小于 3m ⑤主变压器室应靠交通运输方便的马路侧 ⑥昼夜值班的变配电所, 宜设休息室; 有人值班的独立变配电所, 宜设有厕所和给排水设施; 条件许可时, 可单设工具室或维修室
2	保证运行安全	<ul style="list-style-type: none"> ①值班室内不得有高压电气设备 ②值班室的门应朝外开, 高低压配电室和电容器室的门应朝值班室开或朝外开, 或双向开启 ③户内式变配电所的每台油量为 100kg 及以上的三相变压器, 应设在单独的变压器室内 ④变配电所宜单层布置。当采用双层布置时, 变压器应设在底层 ⑤带可燃性油的高压配电装置, 宜设在单独的高压配电室内。当高压开关柜的数量为 6 台及以下时, 可与低压配电屏设置在同一房间内 ⑥不带可燃性油的高、低压配电装置和非油浸的电力变压器, 可设置在同一房间内; 具有符合 IP3X 防护等级外壳的不带可燃性油的高、低压配电装置和非油浸的电力变压器, 当环境允许时, 可相互靠近布置在车间内 ⑦户内高压电容器装置宜设置在单独的高压电容器室内, 当电容器组容量较小时, 可设置在高压配电室内, 但与高压配电装置的距离不应小于 1.5m; 而低压电容器装置可设置在低压配电室内, 当电容器总容量较大时, 宜设置在单独的低压电容器室内 ⑧所有带电部分离墙或离地的尺寸以及各室的维护操作通道的宽度等, 均应符合现行有关规范的要求 (参看表 ZY5-12~18)
3	便于进出线	<ul style="list-style-type: none"> ①高压配电室一般位于高压进线侧, 特别是采用高压架空进线时 ②低压配电室宜靠近变压器室 (考虑到变压器低压出线一般采用架空裸母线) ③低压配电室的位置应便于低压架空出线 ④高压电容器室宜靠近高压配电室, 低压电容器室宜靠近低压配电室, 以便高低压配电室向相应的电容器组配线
4	节约土地和建筑费	<ul style="list-style-type: none"> ①在保证安全运行的前提下, 尽量选用节约土地和建筑费的布置方案 ②高压配电所应尽量与邻近车间变电所合建在一起 ③值班室可与低压配电室合并, 但低压配电室面积应适当增大, 满足本表序号 1 中④的要求 ④为节约土地面积, 可优先选用不带可燃性油的高、低压配电装置和非油浸电力变压器, 这样可将其设置在同一房间内, 或采用成套变电所 ⑤周围环境正常、满足安全可靠要求的情况下, 宜优先选用露天或半露天变电所; 变压器容量在 315kV·A 及以下时, 还可考虑选用杆上变电所 ⑥高、低压电容器在容量较小、电容器柜不多时, 可分别与高、低压配电装置设置在同一房间内, 如本表序号 2 中⑦所述
5	留有发展余地	<ul style="list-style-type: none"> ①变压器室应考虑到扩建时有更换大一一级容量变压器的可能 ②高、低压配电室内应留有适当数量的开关柜 (屏) 的备用位置 ③既要考虑到变配电所留有扩建的余地, 又要不妨碍企业单位今后 5~10 年的发展

2. 变配电所的建筑物要求 如表 ZY5-11 所示。

表 ZY5-11 变配电所的建筑物要求 (据 GB50053—94)

序号	项 目	说 明
1	防火要求	<p>①可燃油油浸电力变压器室的耐火等级应为一級；高压配电室、高压电容器室和非燃或难燃介质的电力变压器室的耐火等级不应低于二級；低压配电室和低压电容器室的耐火等级不应低于三級；屋顶承重构件应为二級</p> <p>②有下列情况之一时，可燃油油浸变压器室的门应为甲級防火门：a. 变压器室位于室内（车间内）；b. 变压器室位于容易沉积可燃粉尘、纤维的场所；c. 变压器室附近有粮、棉及其它易燃物大量集中的露天堆场；d. 变压器室下面有地下室</p> <p>③变压器室的通风窗，应采用非燃烧材料</p> <p>④当露天或半露天变电所采用可燃油油浸变压器时，其变压器外廓与建筑物外墙的距离应大于或等于 5m；当小于 5m 时，建筑物外墙在下列范围内不应有门、窗或通风孔：a. 油量大于 100kg 时，变压器总高度加 3m 及外廓两侧各加 3m；b. 油量在 100kg 及以下时，变压器总高度加 3m 及外廓两侧各加 1.5m</p> <p>⑤当露天或半露天变电所供给一級负荷时，相邻的可燃油油浸变压器的防火净距应不小于 5m。若小于 5m 时，应设防火墙。防火墙应高于油枕顶部，且墙两端应大于挡油设施各 0.5m</p> <p>⑥民用主体建筑内的附设变电所和车间内变电所的可燃油油浸变压器室，应设置容量为变压器油量的 100% 的贮油池</p> <p>⑦有下列情况之一时，可燃油油浸变压器室应设置容量为变压器油量的 100% 的挡油设施，或设置容量为变压器油量的 20% 的挡油池并能将油排到安全处所的设施：a. 变压器室位于容易沉积可燃粉尘、纤维的场所；b. 变压器室附近有粮、棉及其它易燃物大量集中的露天场所；c. 变压器下面有地下室</p> <p>⑧附设变电所、露天或半露天变电所中，油量为 1000kg 及以上的变压器，应设置容量为 100% 油量的挡油设施</p> <p>⑨在多层和高层主体建筑物的底层布置装有可燃性油的电气设备时，其底层外墙开口部位的上方应设置宽度不小于 1.0m 的防火挑檐；多油开关室和高压电容器室均应设有防止油品流散的设施</p> <p>⑩变配电所与所外的建筑物、堆场、储罐之间的防火净距，应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》的规定</p>
2	通风要求	<p>①变压器室宜采用自然通风，夏季的排风温度不宜高于 45℃，进风和排风的温度不宜大于 15℃</p> <p>②电容器室应有良好的自然通风，通风量应根据电容器允许温度，按夏季排风温度不超过电容器所允许的最高环境空气温度计算。当自然通风不能满足排热要求时，可增设机械排风。电容器室应设温度指示装置</p> <p>③变压器室、电容器室当采用机械通风时，其通风管道应采用非燃烧材料制作，当周围环境污秽时，宜在进风口处加空气过滤器</p> <p>④配电室宜采用自然通风。高压配电室装有较多的油断路器时，应装设事故排烟装置</p> <p>⑤位于炎热地区的变配电所，屋面应有隔热措施，控制室和值班室宜考虑通风，有条件时可接入空调系统</p> <p>⑥位于地下室的变配电所，其控制室或值班室宜装设通风系统或空调装置</p> <p>⑦装有 SF₆ 的配电装置和变压器的房间，其排风系统要考虑有底部排风口</p>
3	采暖要求	<p>①在采暖地区，控制室和值班室应设采暖装置，采暖计算温度取为 18℃</p> <p>②在严寒地区，当配电室内温度影响电气设备元件和仪表正常运行时，配电室亦应采暖，采暖计算温度取为 5℃</p> <p>③控制室、值班室和配电室内的采暖装置，宜采用钢管焊接，且不应有法兰、螺纹接头和阀门等</p>

(续)

序号	项 目	说 明
4	采光要求	①高压配电室和电容器室,宜设不能开启的自然采光窗,窗台距户外地坪不宜低于1.8m。临街的一面不宜开窗 ②油浸变压器室不设采光窗,只设通风窗 ③控制室和值班室宜有良好的自然采光。能开启的采光窗应设置纱窗。在寒冷及风沙大的地区,宜采用双层玻璃窗
5	门、窗及其它要求	①变压器室、配电室、电容器室的门应向外开启。相邻配电室之间有门时,其门应能双向开启 ②变配电所各房间经常开启的门、窗,不宜直通相邻的酸、碱、蒸汽、粉尘和噪声严重的场所 ③变压器室、配电室、电容器室等应设置防止雨、雪和蛇、鼠类小动物从采光窗、通风窗、门、电缆沟等进入室内的设施 ④配电室、电容器室和各辅助房间的内墙表面应抹灰刷白。地(楼)面宜采用高标号水泥抹面压光。配电室、变压器室、电容器室的顶棚以及变压器室的内墙面应刷白 ⑤长度大于7m的配电室应设两个出口,并宜布置在配电室的两端,长度大于60m时,宜增加一个出口 ⑥当变电所采用双层布置时,位于楼上的配电室应至少设一个通向室外的平台或通道的出口 ⑦变配电所的电缆夹层、电缆沟和电缆室,应采取防水、排水措施 ⑧配电室、变压器室、电容器室、控制室内,不应有与其无关的管道和线路通过 ⑨在配电室内裸导体正上方,不应布置灯具和明敷线路。当在配电室内裸导体上方布置灯具时,灯具与裸导体的水平净距不应小于1.0m,灯具不得采用吊链和软线吊装

3. 变配电室的有关布置和结构尺寸要求 按 GB50053—94、GB50059—92 及 GB50060—92 等规定,有关布置和结构尺寸要求如表 ZY5-12~18 所示。

表 ZY5-12 室内、外配电装置的最小电气安全净距(据 GB50053—94) (mm)

序号	适用范围	场所	额定电压/kV				
			<0.5	3	6	10	35
1	无遮拦裸带电部分至地(楼)面之间	室内	屏前 2500 屏后 2300	2500	2500	2500	2600
		室外	2500	2700	2700	2700	2900
2	有 IP2X 防护等级遮拦的通道净高	室内	1900	1900	1900	1900	—
3	裸带电部分至接地部分和不同相的裸带电部分之间	室内	20	75	100	125	300
		室外	75	200	200	200	400
4	距地(楼)面 2.5m 以下裸带电部分的遮拦防护等级为 IP2X 时,裸带电部分与遮护物间水平净距	室内	100	175	200	225	400
		室外	175	300	300	300	500
5	不同时停电检修的无遮拦裸导体之间的水平距离	室内	1875	1875	1900	1925	2100
		室外	2000	2200	2200	2200	2400
6	裸带电部分至无孔固定遮拦	室内	50	105	130	155	—
7	裸带电部分至用钥匙或工具才能打开或拆卸的遮拦	室内	800	825	850	875	1050
		室外	825	950	950	950	1150

五、供电系统的结线和结构(ZY5)

643

(续)

序号	适用范围	场所	额定电压/kV				
			<0.5	3	6	10	35
8	低压母线引出线或高压引出线的套管至屋外人行通道地面	室外	3650	4000	4000	4000	4000

注：1. 海拔高度超过 1000m 时，表中序号 3 的数值应按每升高 100m 增大 1% 进行修正。序号 4 和序号 7 的数值应相应加上序号 3 的修正值。
2. 表中 35kV 的数值系按 GB50060—92 补充。

表 ZY5-13 变压器外廓与变压器室墙壁和门的最小净距 (据 GB50053—94) (m)

序号	项 目	变压器容量 (kV·A)	
		100~1000	1250 及以上
1	可燃油油浸变压器外廓与后壁、侧壁净距	0.60	0.80
2	可燃油油浸变压器外廓与门净距	0.80	1.00
3	干式变压器带有 IP2X 及以上防护等级金属外壳与后壁、侧壁净距	0.60	0.80
4	干式变压器有金属网状遮栏与后壁、侧壁净距	0.60	0.80
5	干式变压器带有 IP2X 及以上防护等级金属外壳与门净距	0.80	1.00
6	干式变压器有金属网状遮栏与门净距	0.80	1.00

注：1. 序号 3~6 为 JGJ/T16—92 《民用建筑电气设计规范》补充，并在其“条文说明”中指出，这些净距“尚须实践中总结、验证”。
2. 表中各值不适于制造厂的成套产品。
3. 设置于变电所内的非封闭式干式变压器，应装设高度不低于 1.7m 的固定遮栏，遮栏网孔不应大于 40mm×40mm，变压器外廓与遮栏的净距不宜小于 0.6m，变压器之间净距不应小于 1.0m。

表 ZY5-14 露天或半露天变电所的变压器围栏及有关距离 (据 GB50053—94)

序号	项 目	最小尺寸/m
1	变压器四周应设固定围栏(墙)高度	1.70
2	变压器外廓与围栏(墙)的净距	0.80
3	变压器底部距地面高度	0.30
4	相邻变压器外廓之间的净距	1.50

注：当其变压器供给一级负荷用电时，相邻的可燃油油浸变压器的防火净距应不小于 5m，如表 ZY5-11 中序号 1 之⑤所规定。

表 ZY5-15 高压配电室内各种通道最小宽度 (据 GB50053—94) (m)

序号	开关柜布置方式	柜后维护通道	柜前操作通道	
			固定式	手车式
1	单排布置	0.80	1.50	单车长度+1.20
2	双排面对面布置	0.80	2.00	双车长度+0.90
3	双排背对背布置	1.00	1.50	单车长度+1.20

注：① 固定式开关柜为靠墙布置时，柜后与墙净距应大于 0.05m，侧面与墙净距应大于 0.20m。
② 通道宽度在建筑物的墙面遇有柱类局部凸出时，凸出部位的通道宽度可减少 0.20m。

表 ZY5-16 低压配电室内各种通道最小宽度 (据 GB50053—94) (m)

序号	配电屏型式	配电屏布置方式	屏前通道	屏后通道
1	固定式	单排布置	1.50	1.00
2		双排面对面布置	2.00	1.00
3		双排背对背布置	1.50	1.50
4	抽屉式	单排布置	1.80	1.00
5		双排面对面布置	2.30	1.00
6		双排背对背布置	1.80	1.00

注: 当建筑物墙面遇有柱类局部凸出时, 凸出部位的通道宽度可减少 0.20m。

表 ZY5-17 封闭式变压器室通风窗的有效面积 (据 88D264—130)

序号	变压器容量 kV·A	进出风窗 中心高差 m	进出风窗 面积之比	进风温度 30℃		进风温度 35℃			
				进风窗面积 m ²	出风窗面积 m ²	进风窗面积 m ²	出风窗面积 m ²		
1	室内安装 S7、SL7 型变压器时								
1.1	630	2.0	1:1	1.1	1.1	2.0	2.0		
			1:1.5	0.9	1.35	1.6	2.4		
		2.5	1:1	1.0	1.0	1.8	1.8		
			1:1.5	0.8	1.2	1.44	2.16		
		3.0	1:1	0.9	0.9	1.6	1.6		
			1:1.5	0.72	1.08	1.28	1.92		
		3.5	1:1	0.83	0.83	1.5	1.5		
			1:1.5	0.66	1.0	1.2	1.8		
		1.2	1000	2.5	1:1	1.4	1.4	2.57	2.57
					1:1.5	1.12	1.68	2.05	3.08
3.0	1:1			1.28	1.28	2.35	2.35		
	1:1.5			1.02	1.5	1.88	2.82		
3.5	1:1			1.18	1.18	2.17	2.17		
	1:1.5			0.94	1.42	1.74	2.6		
4.0	1:1			1.11	1.11	2.03	2.03		
	1:1.5			0.89	1.33	1.62	2.44		
1.3	1600			2.0	1:1	2.24	2.24	4.1	4.1
					1:1.5	1.79	2.69	3.28	4.42
		2.5	1:1	2.0	2.0	3.68	3.68		
			1:1.5	1.6	2.4	2.94	4.4		
		3.0	1:1	1.83	1.83	3.35	3.35		
			1:1.5	1.46	2.2	2.68	4.0		

(续)

序号	变压器容量 kV·A	进出风窗 中心高差 m	进出风窗 面积之比	进风温度 30℃		进风温度 35℃	
				进风窗面积 m ²	出风窗面积 m ²	进风窗面积 m ²	出风窗面积 m ²
1.3	1600	3.5	1:1	1.69	1.69	3.1	3.1
			1:1.5	1.35	2.0	2.43	3.72
		4.0	1:1	1.58	1.58	2.9	2.9
			1:1.5	1.26	1.9	2.32	3.48
		5.0	1:1	1.4	1.4	2.6	2.6
			1:1.5	1.12	1.68	2.08	3.12
2	室内安装 S9 型变压器时						
2.1	630	2.0	1:1	0.84	0.84	1.55	1.55
			1:1.5	0.67	1.0	1.24	1.66
		2.5	1:1	0.76	0.76	1.39	1.39
			1:1.5	0.61	0.91	1.11	1.67
		3.0	1:1	0.69	0.69	1.27	1.27
			1:1.5	0.55	0.83	1.02	1.52
3.5	1:1	0.64	0.64	1.17	1.17		
	1:1.5	0.51	0.77	0.94	1.4		
2.2	1000	2.0	1:1	1.37	1.37	2.5	2.5
			1:1.5	1.1	1.64	2.0	3.0
		2.5	1:1	1.22	1.22	2.25	2.25
			1:1.5	0.98	1.46	1.8	2.7
		3.0	1:1	1.11	1.11	2.05	2.05
			1:1.5	0.89	1.33	1.64	2.46
3.5	1:1	1.03	1.03	1.0	1.0		
	1:1.5	0.82	1.24	1.52	2.28		
2.3	1600	2.0	1:1	1.92	1.92	3.53	3.53
			1:1.5	1.54	2.3	2.82	4.24
		2.5	1:1	1.72	1.72	3.16	3.16
			1:1.5	1.38	2.06	2.53	3.79
		3.0	1:1	1.57	1.57	2.88	2.88
			1:1.5	1.26	1.88	2.3	3.46
3.5	1:1	1.45	1.45	2.67	2.67		
	1:1.5	1.16	1.74	2.14	3.2		
4.0	1:1	1.36	1.36	2.5	2.5		
	1:1.5	1.09	1.63	2.0	3.0		

注: 1. 本表按出风孔采用固定百页窗, 进风孔采用固定百页窗加金属网进行计算。
 2. 进风温度按通风计算温度(表 ZY5-18)考虑。

表 ZY5-18 全国主要城市夏季通风计算温度 (据 88D264—131 整理)

序号	地名	温度 ℃	序号	地名	温度 ℃	序号	地名	温度 ℃		
1	北京市	30	8	内蒙古自治区		12.2	南通	31		
2	天津市	30	8.1	呼和浩特	26	12.3	常州	32		
3	上海市	32	8.2	锡林浩特	26	12.4	淮阳	31		
4	河北省		8.3	包头	28	12.5	徐州	32		
4.1			石家庄	31	8.4	盟口	28	13	浙江省	
4.2			保定	31	9	辽宁省		13.1	杭州	33
4.3			邯郸	31	9.1	沈阳	28	13.2	温州	31
4.4			唐山	29	9.2	鞍山	29	13.3	宁波	33
4.5			承德	28	9.3	抚顺	29	13.4	金华	33
4.6			张家口	28	9.4	本溪	27	13.5	定海	31
4.7			秦皇岛	27	9.5	锦州	28	13.6	衢县	34
5	河南省		9.6	营口	28	14	福建省			
5.1			郑州	32	9.7	大连	26	14.1	福州	33
5.2			开封	31	9.8	丹东	27	14.2	厦门	32
5.3			新乡	32	9.9	阜新	29	14.3	永安	34
5.4			洛阳	32	9.10	赤峰	28	14.4	南平	34
5.5			许昌	31	10	吉林省		15	安徽省	
5.6			南阳	31	10.1	长春	27	15.1	合肥	33
5.7			安阳	31	10.2	四平	28	15.2	芜湖	32
5.8			信阳	32	10.3	通江	28	15.3	蚌埠	33
5.9	驻马店	32	10.4	吉林	27	15.4	安庆	33		
6	山东省		10.5	延吉	26	15.5	亳县	33		
6.1			济南	31	11	黑龙江省		16	江西省	
6.2			青岛	28	11.1	哈尔滨	26	16.1	南昌	34
6.3			烟台	28	11.2	齐齐哈尔	23	16.2	九江	33
6.4			潍坊	30	11.3	佳木斯	27	16.3	景德镇	34
6.5			菏泽	32	11.4	海拉尔	25	16.4	赣州	34
6.6	张店	31	11.5	嫩江	25	16.5	吉安	35		
7	山西省		11.6	海伦	25	17	湖北省			
7.1			太原	28	11.7	牡丹江	26	17.1	武汉	33
7.2			大同	27	11.8	鸡西	26	17.2	宜昌	33
7.3			运城	32	11.9	鹤岗	24	17.3	光化	32
7.4			阳泉	29	12	江苏省		17.4	恩施	32
7.5	长治	27	12.1	南京	32	18	湖南省			
						18.1	长沙	34		

(续)

序号	地名	温度 ℃	序号	地名	温度 ℃	序号	地名	温度 ℃
18.2	湘潭	33	23.8	都江堰		27.4	汉中	29
18.3	衡阳	33	23.9	西昌	27	27.5	榆林	28
18.4	岳阳	31	23.10	雅安	30	27.6	延安	28
18.5	常德	32	23.11	甘孜	19	28	甘肃省	
18.6	零陵	33	23.12	南充	32	28.1	兰州	27
18.7	芷江	32	23.13	绵阳	29	28.2	天水	27
19	广东省		23.14	万源	29	28.3	玉门	27
19.1	广州	32	23.15	酉阳	30	28.4	敦煌	30
19.2	汕头	31	23.16	会理	25	28.5	酒泉	26
19.3	韶关	33	23.17	康定	20	28.6	平凉	25
19.4	湛江	32	24	贵州省		28.7	山丹	26
19.5	榆林港	31	24.1	贵阳	28	28.8	武都	28
20	海南省		24.2	遵义	29	28.9	张掖	28
20.1	海口	32	24.3	毕节	26	29	青海省	
20.2	三亚		24.4	兴仁	26	29.1	西宁	22
21	广西壮族自治区		25	云南省		29.2	共和	19
21.1	南宁	32	25.1	昆明	24	29.3	格尔木	22
21.2	桂林	32	25.2	大理	24	29.4	玛多	11
21.3	梧州	33	25.3	玉溪	25	30	宁夏回族自治区	
21.4	百色	33	25.4	会泽	22	30.1	银川	27
22	重庆市		25.5	蒙自	27	30.2	盐池	27
22.1	重庆	33	26	西藏自治区		31	新疆维吾尔自治区	
22.2	万县	32	26.1	拉萨	10	31.1	乌鲁木齐	29
22.3	达县	34	26.2	昌都	22	31.2	伊宁	27
23	四川省		26.3	日喀则	10	31.3	哈密	31
23.1	成都	29	26.4	林芝	20	31.4	吐鲁番	36
23.2	内江	31	27	陕西省		31.5	喀什	29
23.3	泸州	31	27.1	西安	31	31.6	和田	29
23.4	宜宾	30	27.2	宝鸡	30	31.7	克拉玛依	29
23.5	自贡	27	27.3	略阳	28	32	台湾省	
23.6	乐山	30					(暂缺)	
23.7	峨嵋	32						

注：表中“温度”为夏季室外通风计算温度，采用当地历年最热月14点钟的月平均温度的历年平均值。

4. 变配电所的布置方案示例 如表 ZY5-19 所示。图 ZY5-1~2 分别为单层布置和双层布置的 35/10kV 变电所平、剖面图 (实例)。

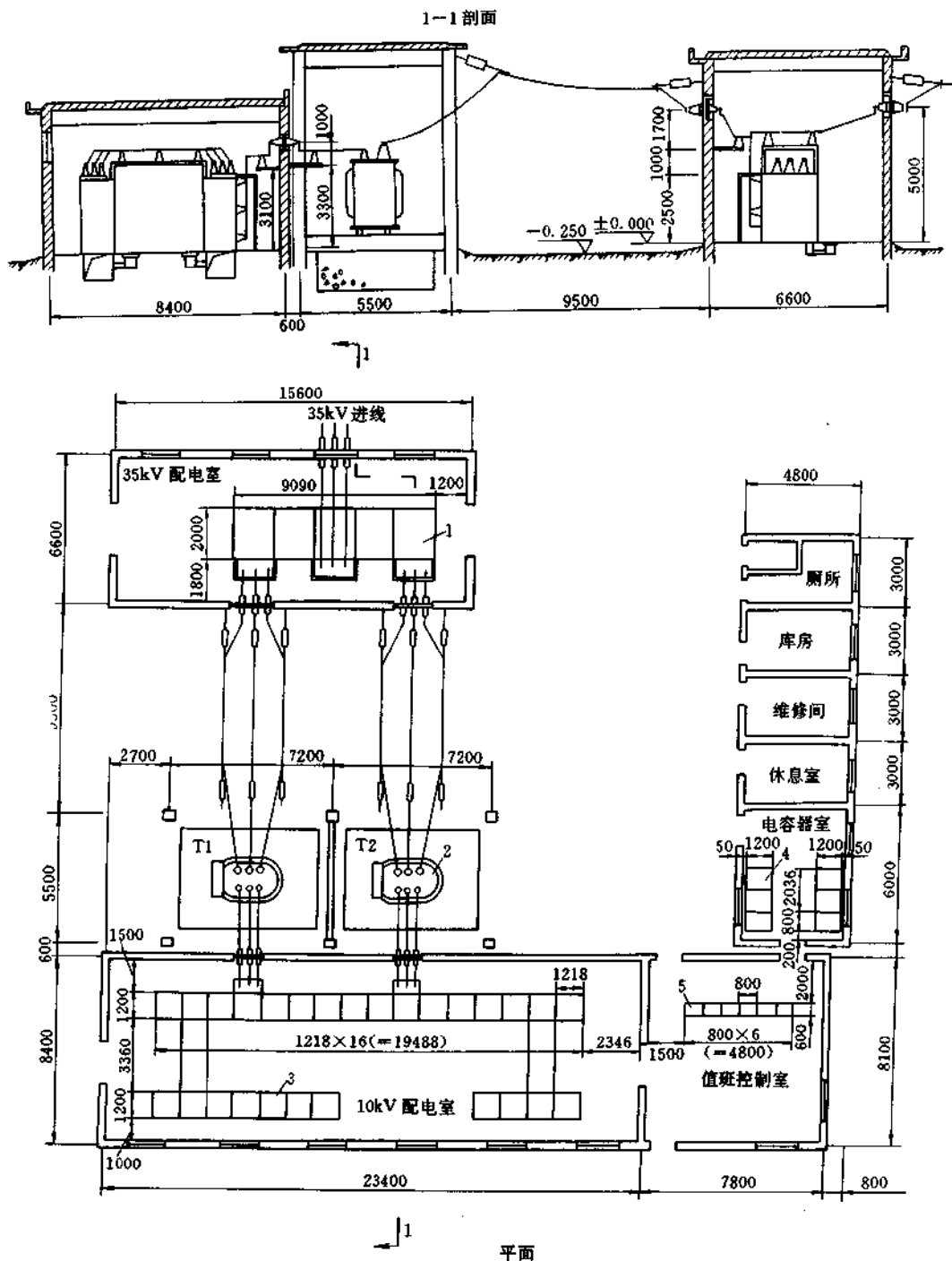


图 ZY5-1 35/10kV 单层布置变电所平、剖面图 (见文献 [4])

1—GBC-35A (F) 型开关柜 2—SL7-4000/35 型变压器 3—GG-1A (F) 型开关柜

4—GR-1 型 10kV 电容器柜 5—PK-1 型控制柜

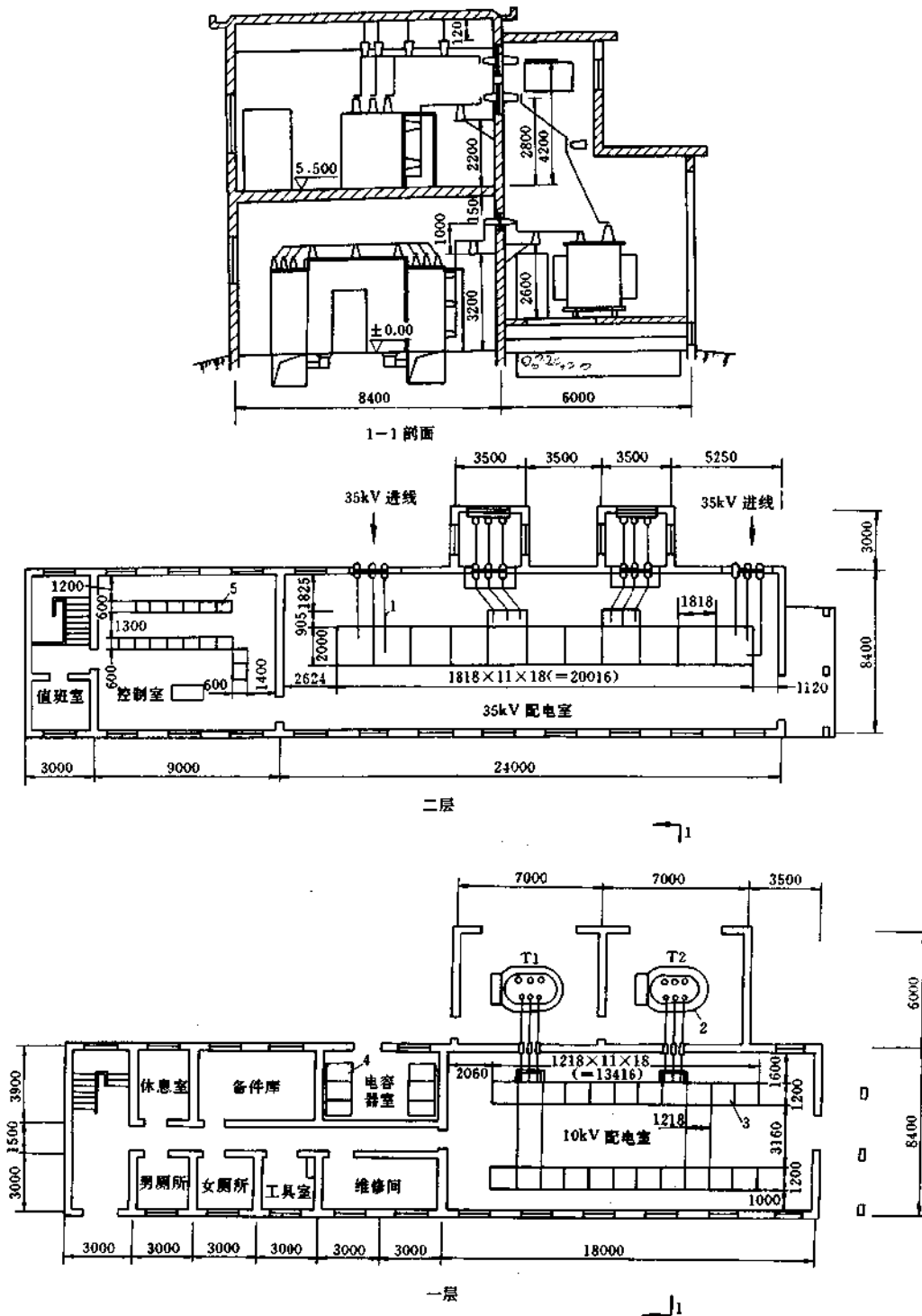


图 ZY5-2 35/10kV 双层布置变电所平、剖面图 (见文献 [4])

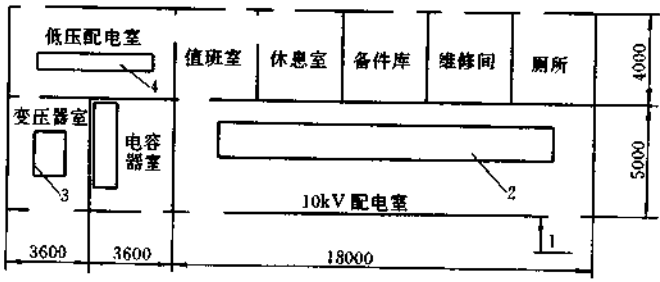
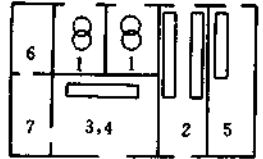
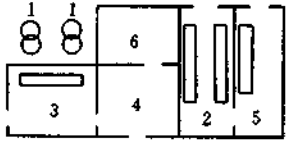
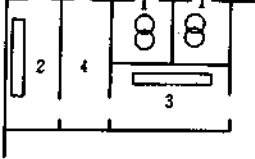
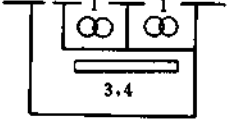
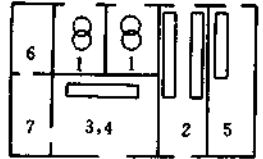
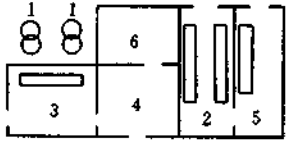
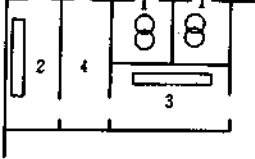
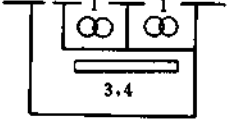
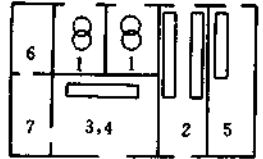
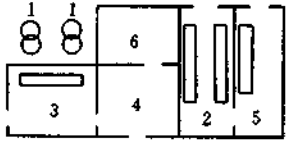
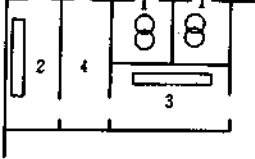
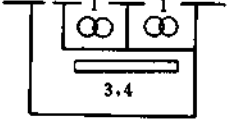
1—GBC-35A (F) 型开关柜 2—SL7-6300/35 型变压器 3—GG-1A (F) 型开关柜

4—GR-1 型 10kV 电容器柜 5—PK-1 型控制柜

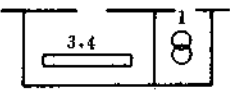
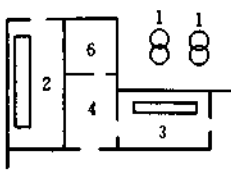
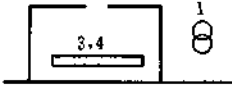
表 ZY5-19 变配电所的布置方案示例

序号	类别	布置方案(示例)
1	35/10kV 变电所 单层布置方案	<p>1—35kV 架空进线 2—主变压器 (4000kV·A) 3—JYN1-35 型开关柜 4—KYN-10 型开关柜</p>
2	35/10kV 变电所 双层布置方案	<p>1—35kV 架空进线 2—主变压器 (6300kV·A) 3—JYN1-35 等型开关柜 4—JYN2-10 等型开关柜</p>

(续)

序号	类别	布置方案(示例)									
3	6~10kV 配电所 (兼车间变电所)布置方案	 <p>1-6~10kV 电缆进线 2-高压开关柜 3-6~10/0.4kV 变压器 4-低压配电屏</p>									
4	6~10/0.4kV 变电所布置方案	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="454 846 502 1120">独立式</td> <td data-bbox="502 846 909 1120">  </td> <td data-bbox="909 846 1337 1942" rowspan="4"> <p>1-变压器室或露天(半露天变压器装置) 2-高压配电室 3-低压配电室 4-值班室 5-高压电容器室 6-维修室或工具室 7-休息室、生活间</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="454 1120 502 1400">独立式</td> <td data-bbox="502 1120 909 1400">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="454 1400 502 1668">附设式</td> <td data-bbox="502 1400 909 1668">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="454 1668 502 1942">附设式</td> <td data-bbox="502 1668 909 1942">  </td> </tr> </table>	独立式		<p>1-变压器室或露天(半露天变压器装置) 2-高压配电室 3-低压配电室 4-值班室 5-高压电容器室 6-维修室或工具室 7-休息室、生活间</p>	独立式		附设式		附设式	
独立式		<p>1-变压器室或露天(半露天变压器装置) 2-高压配电室 3-低压配电室 4-值班室 5-高压电容器室 6-维修室或工具室 7-休息室、生活间</p>									
独立式											
附设式											
附设式											

(续)

序号	类别	布置方案(示例)
4	6~10/0.4kV 变电所布置方案	<p>附设式</p> 
	露天或半露天式	 <p>1—变压器室或露天、半露天变压器装置 2—高压配电室 3—低压配电室 4—值班室 5—高压电容器室 6—维修室或工具室 7—休息室、生活间</p>
	露天或半露天式	

(五) 变配电装置标准安装图

经建设部批准,由中国建筑标准设计研究所发行了一套《全国通用建筑标准设计·电气装置标准图集》,其中1989年批准实施的《变配电所常用设备构件安装》(88D263)和《电力变压器室布置》(88D264),由冶金工业部北京钢铁设计研究总院主编,1991年批准实施的《杆上变压器台》(86D265)和《落地式变压器台》(86D266)由长沙有色冶金设计研究院主编。

1. 《变配电所常用设备构件安装》(88D263)标准图

本图集适用范围为:10kV及以下的户内式变配电所常用设备构件的安装。

限于篇幅,这里仅选编隔离开关和负荷开关安装的五张标准图,如图ZY5-3~7所示,供参考。关于高低压开关柜的布置和安装,已在文献[3]中选编了部分,也可参看其它手册或厂家的产品样本,此略。

2. 《电力变压器室布置》(88D264)标准图

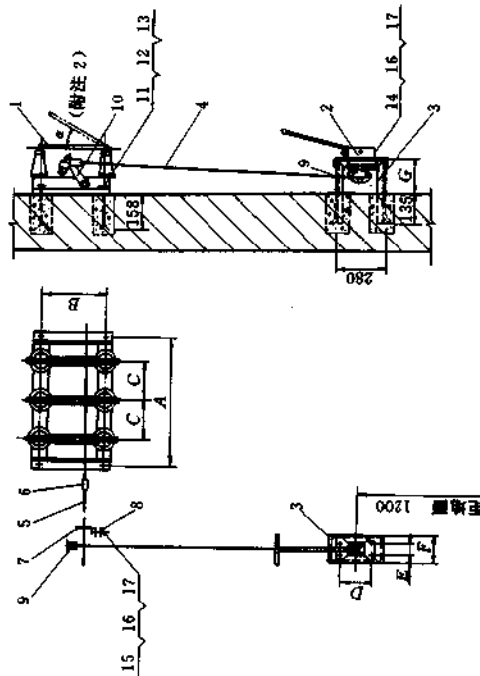
本图集适用范围为:①变压器电压为6~10/0.4kV;②变压器容量为200~1600kVA;③建筑型式为工业企业和民用建筑的油浸式电力变压器室;④环境条件为无爆炸危险的场所和不致因腐蚀性气体、蒸汽、导电尘埃等有害介质或剧烈振动而严重影响安全运行的场所;⑤气象条件为冬季环境温度不低於-30℃,夏季通风计算温度不高于35℃。

附注:

1. 轴延长需增加轴承时,两个轴承间的距离应小于1000。
2. 隔离开关刀片打开时,角度 α 应使开口距离 ≥ 160 。
3. 操动机构也可以安装在隔离开关的左侧。

设备材料表

编号	名称	型号及规格	单位	数量	页次	备注
1	隔离开关	GN2-10/2000 GN2-10/3000	台	1	—	
2	手力操动机构	CS6-2 或 CS7	台	1		
3	安装支架		个	1	35	
4	拉杆	钢管 $\phi 20$	根	1	—	长度由工程
5	轴	圆钢 $\phi 25$ 或 $\phi 30$	根	1	—	设计决定
6	轴连接套		根	1	40	
7	轴承		根	1	40	
8	轴承支架		根	1	40	
9	直叉型接头		个	2	41	可随隔离开
10	轴臂		个	1	41	关成套供货
11	开尾螺栓	M12 \times 180 M16 \times 180	个	4	—	
12	螺母	M12,GB41—66 M16,GB41—66	个	4	—	
13	垫圈	12,GB95—66 16,GB95—66	个	4	—	
14	螺栓	M10 \times 30,GB5—66	个	4	—	
15	螺栓	M10 \times 35,GB5—66	个	2	—	
16	螺母	M10,GB41—66	个	6	—	
17	垫圈	10,GB95—66	个	6	—	
GN2-10/2000,GN2-10/3000 隔离开关在墙上安装						图集号 88D263
						页 12



隔离开关型号	配用手力操 动机构型号	尺寸/mm							
		A	B	C	D	E	F	G	α
GN2-10/2000	CS6-2	910	346	350	160	80	130	200	附注 2
GN2-10/3000	CS7	966	480	350	180	65	115	250	附注 2

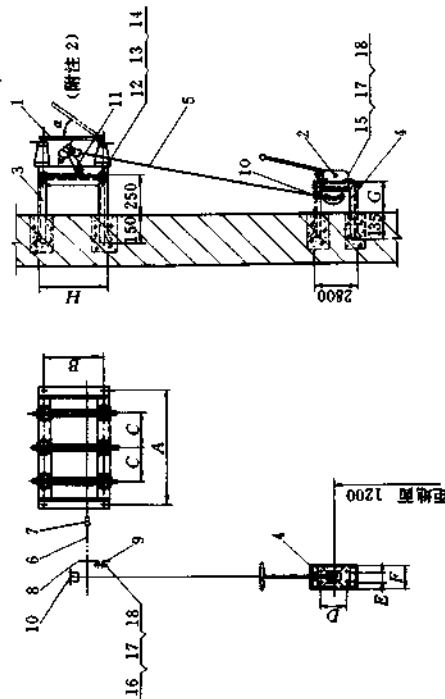
图 ZY5-3 GN2-10 隔离开关在墙上安装

附注:

1. 轴延长需增加轴承时,两个轴承间的距离应小于1000。
2. 隔离开关刀片打开时,角度 α 应使开口距离 ≥ 160 。
3. 操动机构也可以安装在隔离开关的左侧。

设备材料表

编号	名称	型号及规格	单位	数量	页次	备注
1	隔离开关	GN2-10/2000 GN2-10/3000	台	1	—	
2	手力操动机构	CS6-2 或 CS7	台	1	—	
3	隔离开关安装支架		个	1	30	
4	操动机构安装支架		个	1	35	
5	拉杆	钢管 $\phi 20$	根	1	—	长度由工程
6	轴	圆钢 $\phi 25$ 或 $\phi 30$	根	1	—	设计决定
7	轴连接套		根	1	40	
8	轴承		根	1	40	
9	轴承支架		根	1	40	
10	直叉型接头		个	2	41	可随隔离开
11	轴臂		个	1	41	关成套供应
12	螺栓	M12 \times 40, GB5—66 M16 \times 40, GB5—66	个	4	—	
13	螺母	M12, GB41—66 M16, GB41—66	个	4	—	
14	垫圈	12, GB95—66 16, GB95—66	个	4	—	
15	螺栓	M10 \times 30, GB5—66	个	4	—	
16	螺栓	M10 \times 35, GB5—66	个	2	—	
17	螺母	M10, GB41—66	个	6	—	
18	垫圈	10, GB95—66	个	6	—	
GN2-10/2000, GN2-10/3000			图号	88D26		
隔离开关在墙上支架上安装			页	13		



隔离开关型号	配用手力操 动机构型号	尺寸/mm								
		A	B	C	D	E	F	G	H	α
GN2-10/2000	CS6-2	910	346	350	160	80	130	200	406	附注 2
GN2-10/3000	CS7	966	480	350	180	65	115	250	540	附注 2

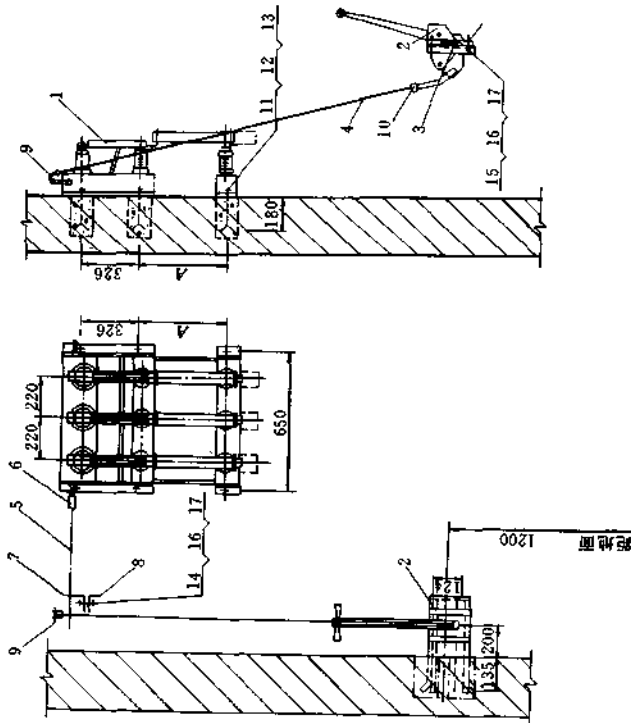
图 ZY5-4 GN2-10 隔离开关在墙上支架上安装

附注:

1. 弯形拐臂(零件9)也可用88D263第41页(图ZY5-7)上的直叉形接头代替。
2. 轴(零件5)延长需增加轴承(零件7)时,两个轴承间的距离不应超过1000。
3. 操动机构也可安装在负荷开关的左侧。
4. 负荷开关也可安装在墙上的支架上,支架见88D263第33页。

设备材料表

编号	名称	型号及规格	单位	数量	页次	备注
1	负荷开关	FN3-10R	台	1	—	
2	手力操动机构	CS3-T	台	1	—	
3	安装支架		个	1	38	
4	拉杆	钢管φ20	根	1	—	长度由工程设计决定
5	轴	圆钢φ30	根	1	—	
6	轴连接套		根	1	40	
7	轴承		根	1	40	
8	轴承支架		根	1	40	
9	轴臂及弯形拐臂		副	1	—	弯形拐臂 随开关 成套供应
10	螺杆		个	1	41	
11	开尾螺栓	M16×220	个	6	—	
12	螺母	M16,GB41—66	个	6	—	
13	垫圈	16,GB95—66	个	6	—	
14	螺栓	M10×35,GB5—66	个	2	—	
15	螺栓	M10×30,GB5—66	个	4	—	
16	螺母	M10,GB41—66	个	6	—	
17	垫圈	10,GB95—66	个	12	—	
FN3-10R 负荷开关在墙上安装 (熔断器后装式)			图号	88D263		
			页	23		



FN3-10R 负荷开关 RN3 熔断器	尺寸/mm
A	
6kV, 10~50A	318
6kV, 75A	368
6kV, 100~200A	368
10kV, 10~50A	418
10kV, 75A	418
10kV, 100~200A	418

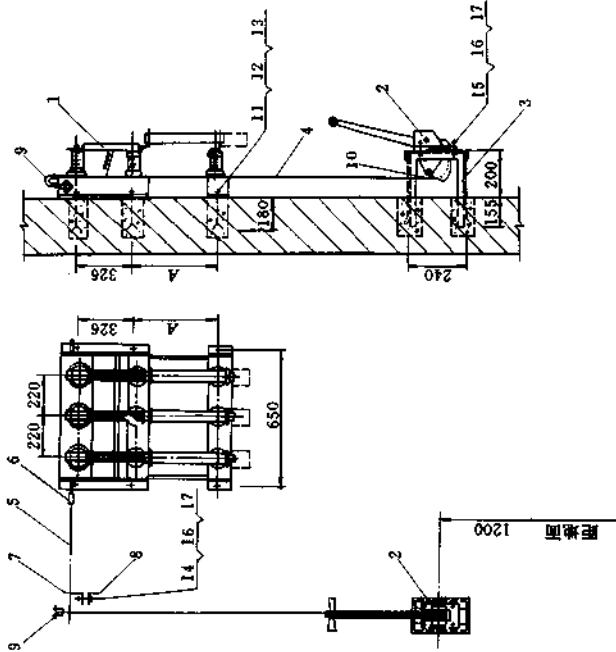
图 ZY5-5 FN3-10R 负荷
开关在墙上安装(一)

附注:

1. 弯形拐臂(零件9)也可用88D263第41页(图ZY5-7)上的直叉形接头代替。
2. 轴(零件5)延长需增加轴承(零件7)时,两个轴承间的距离不应超过1000。
3. 换动机构也可安装在负荷开关的左侧。
4. 负荷开关配用CS3手力换动机构时,88D263 41页(图ZY5-7)上零件1的螺纹直径M16应改为M12。

设备材料表

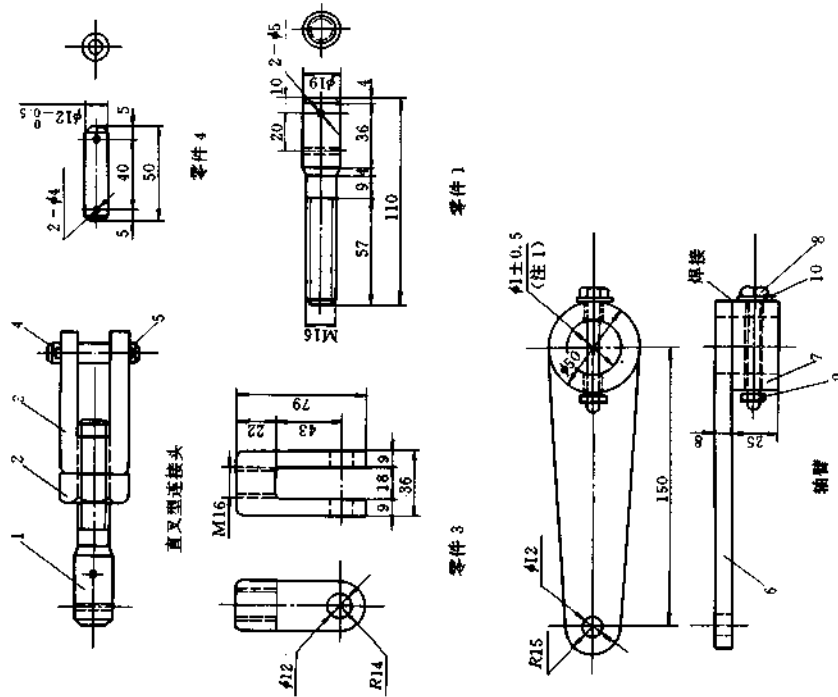
编号	名称	型号及规格	单位	数量	页次	备注
1	负荷开关	FN3-10R	台	1	—	
2	手力换动机构	CS3	台	1	—	
3	安装支架		个	1	38	
4	拉杆	钢管φ20	根	1	—	长度由工程设计决定
5	轴	圆钢φ30	根	1	—	
6	轴连接套		根	1	40	
7	轴承		根	1	40	
8	轴承支架		根	1	40	
9	轴臂及弯形拐臂		副	1	—	弯形拐臂随开关成套供应
10	螺杆		个	1	41	见附注4
11	开尾螺栓	M16×220	个	6	—	
12	螺母	M16,GB41—66	个	6	—	
13	垫圈	16,GB95—66	个	6	—	
14	螺栓	M10×35,GB5—66	个	2	—	
15	螺栓	M10×30,GB5—66	个	4	—	
16	螺母	M10,GB41—66	个	6	—	
17	垫圈	10,GB95—66	个	12	—	
FN3-10R 负荷开关在墙上安装 (熔断器后装式)			图号	88D263	页	26



FN3-10R 负荷开关	尺寸/mm
RN3 熔断器	A
6kV, 10~50A	318
6kV, 75A	368
6kV, 100~200A	368
10kV, 10~50A	418
10kV, 75A	418
10kV, 100~200A	418

图ZY5-6 FN3-10R 负荷开关在墙上安装(二)

附注：
1. 尺寸 $\phi 1$ 为隔离开关或负荷开关轴的直径，按产品实际尺寸决定。



编号	名称	型号及规格	单位	数量	页次	备注
1	螺栓	圆钢 $\phi 19, l=110$	个	1	—	
2	螺母	M16, GB41—66	个	1	—	
3	拉杆套	$36, l=80$	个	1	—	
4	带孔梢	$12 \times 50, GB880—66$	个	1	—	
5	开口梢	$3 \times 25, GB91—67$	个	2	—	
6	轴臂	钢板厚 8	个	1	—	
7	固定轴套	钢管 $\phi 50, l=25$	个	1	—	
8	螺钉	$M10 \times 70, GB86—66$	个	1	—	
9	螺母	M10, GB41—66	个	1	—	
10	垫圈	10, GB95—66	个	2	—	
隔离开关及负荷开关安装附件			图编号	88D26		
直叉型连接器及轴臂			页	41		

图 ZY5-7 隔离开关及负荷开关安装附件

本图集规定的使用条件为：①变压器室的大小可安装 SL7 型铝线变压器或 S7 和 S9 型铜线变压器；②变压器高压侧供电方式为放射式或树干式；③变压器高压侧进线方式为电缆引入或架空引入；④变压器室通风方式为自然通风，出风温度按 +45℃ 计算，进出风温度不超过 15℃；⑤附设式变压器室不设贮油池，车间内式变压器设贮油池；⑥变压器室的布置尺寸能满足在运行中不停电进入室内维护或安全操作的要求；在 ≥800kVA 的变压器室内，需要时可装吊芯检查的吊钩及搬运的拉钩（在后墙）；⑦变压器低压侧出线方式为母线架空引出；⑧低压侧中性母线上可按需要安装零序电流互感器（在变压器上）；⑨用于附设式低压安装的变压器允许在同等条件下高式安装。

本图集规定的技术及安全要求：①变压器中性点及外壳、避雷器、开关及其操动机构的金属底座、电缆头金属外壳、电缆金属外皮、电缆保护管以及所有金属支架，都必须可靠接地；②保护接地可与变压器中性点及避雷器工作接地共用接地装置，接地电阻不大于 4Ω；③变压器室内应设临时连接接地线的接线柱；④接地装置的制作和安装，按《接地装置安装图集》。

本图集选用注意事项：①图集中变压器室的大小尺寸系推荐尺寸。如果具体工程的变压器室不得已须缩小时，则应按实际订货的变压器外形尺寸和规定的离墙、离门最小距离进行校核。②图集内的变压器室布置图上未注变压器室的大小尺寸。当具体工程的变压器室大小与土建设计任务图上的推荐尺寸略有出入时，这些图纸仍可使用。③变压器室为架空进线时，应尽量减小进线处导线悬挂点的水平拉力，接户线的档距不宜大于 25m。④变压器室内地坪标高按如下假定条件决定：变压器室内地坪——低式 ±0.00m，高式 +0.95m；室外地坪——-0.15m；车间地坪——±0.00m；低压配电室地坪——+0.15m。

本图集的变压器室布置方案代号的含义如下：

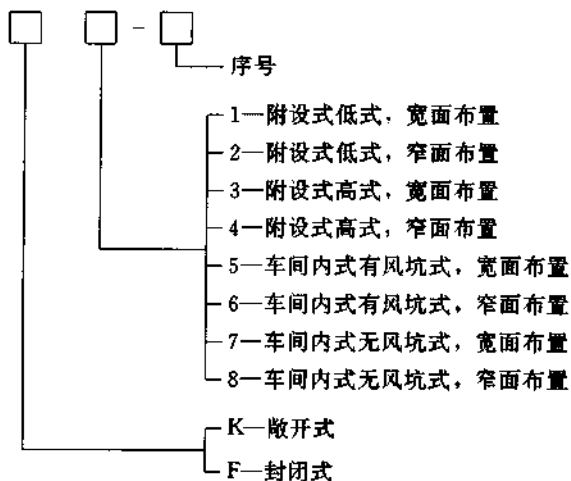
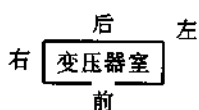
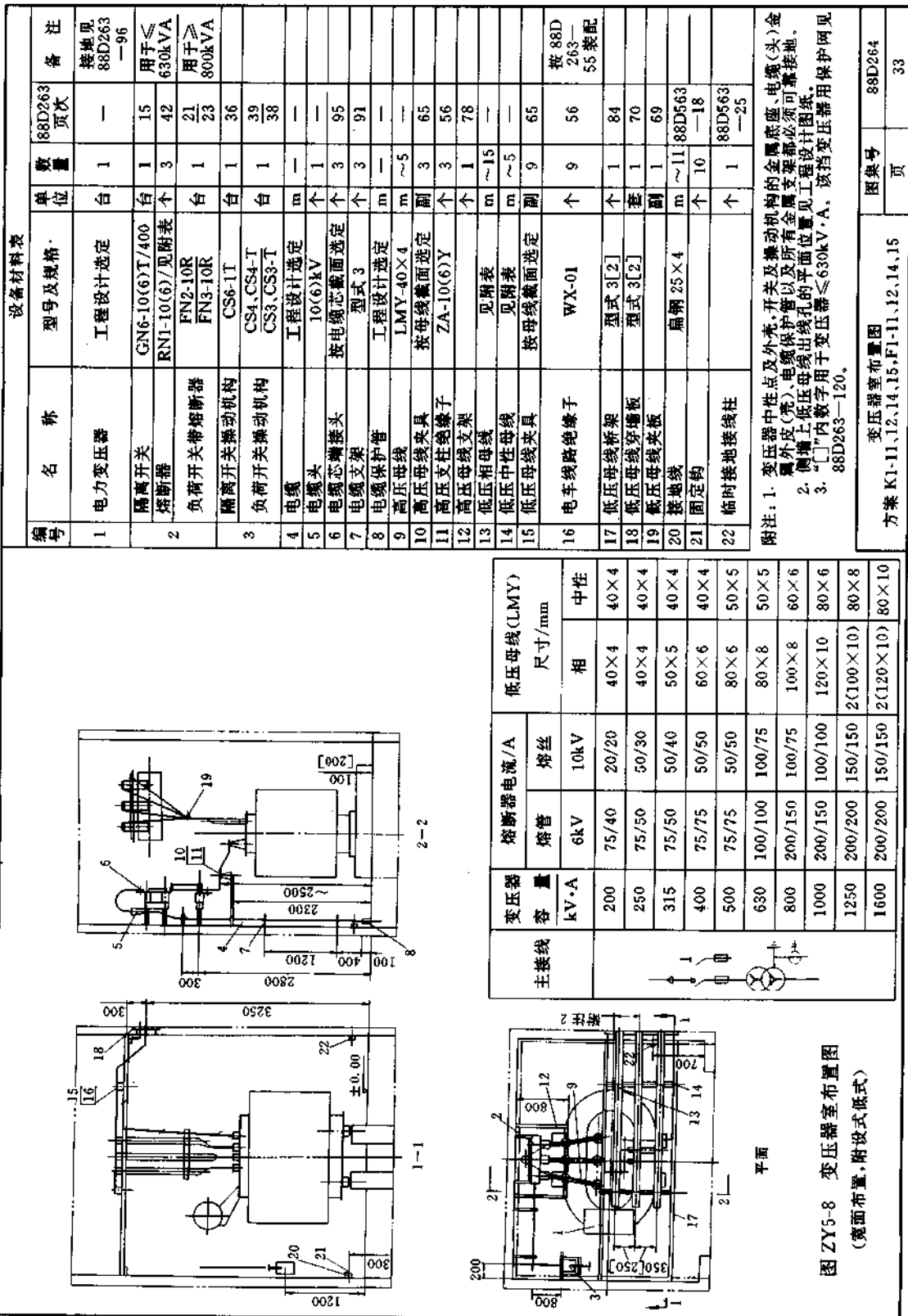


图 ZY5-8~17 为部分变压器室布置图，图 ZY5-18~23 为部分变压器室土建设计任务图，供参考。变压器室布置图中关于高低压进出线的方向，本手册以变压器室门的朝向为“前”来论其“前、后、左、右”，如下图所示：



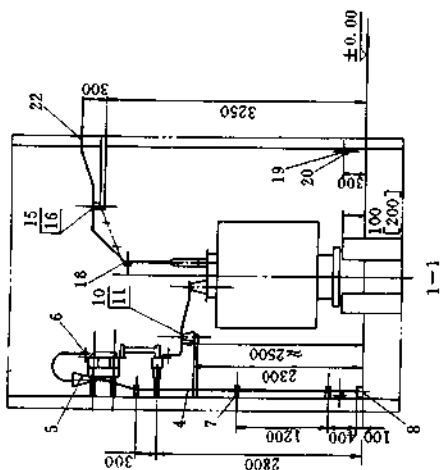


设备材料表					
编号	名称	型号及规格	单位	数量	备注
1	电力变压器	工程设计选定	台	1	接地见88D263—96
2	隔离开关	GN6-10(6)/400	台	1	用于≤630kVA
	熔断器	RN1-10(6)/见附表	个	3	用于≥600kVA
	负荷开关带熔断器	FN3-10R	台	1	
3	隔离开关操动机构	CS6-IT	台	1	
4	负荷开关操动机构	CS3	台	1	
5	电缆	工程设计选定	m	—	
6	电缆头	10(6)kV	个	1	
7	电缆芯接头	按电缆芯截面选定	个	3	
8	电缆支架	型式3	个	3	
9	电缆保护管	工程设计选定	m	—	
10	高压母线	LMY-40×4	m	~5	
11	高压母线夹具	按母线截面选定	副	3	
12	高压支柱绝缘子	ZA-10(6)Y	个	3	
13	高压母线支架	见附表	个	1	
14	低压中性母线	见附表	m	~12	
15	低压母线夹具	按母线截面选定	副	3	
16	电线路绝缘子	WX-01	个	3	按88D263—55选配
17	低压母线支架	型式6[5]	套	1	
18	低压母线夹板	型式6[5]	副	1	
19	接地线	扁钢 25×4	m	~11	88D563—18
20	固定钩		个	10	
21	临时接地接线柱		个	1	88D563—25
22	低压母线穿墙板	型式3[2]	个	1	70

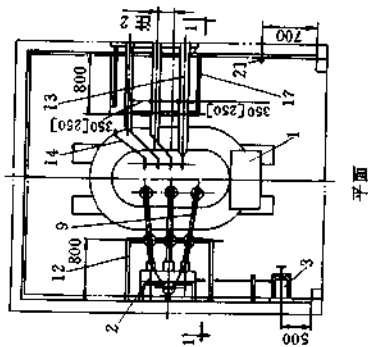
附注：1. 变压器中性点及外壳、开关及操动机构的金属底座、电缆(头)金属外皮(壳)、电缆保护管以及所有金属支架都必须可靠接地。
 2. 扁钢上截压出线孔的平面位置见工程设计。
 3. ≤630kV·A 变压器用保护网见88D263—120。
 4. “[]”内数字用于变压器容量≤630kV·A。

图集号	88D264
页	35

图 ZY5-9 变压器室布置图
(平面布置,附设式柜式)



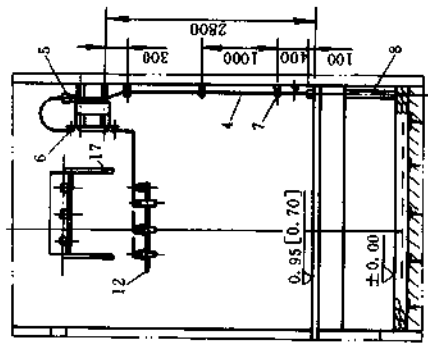
主接线	变压器容量/kV·A		熔断器电流/A		低压母线(LMY)尺寸/mm	
	容量	熔管	熔管	熔丝	相	中性
	200	6kV	75/40	10kV	40×4	40×4
	250	75/50	50/30		40×4	40×4
	315	75/50	50/40		50×5	40×4
	400	75/75	50/50		60×6	40×4
	500	75/75	50/50		80×6	50×5
	630	100/100	100/75		80×8	50×5
	800	200/150	100/75		100×8	60×6
	1000	200/150	100/100		120×10	80×6
	1250	200/200	150/150		2(100×10)	80×8
	1600	200/200	150/150		2(120×10)	80×10



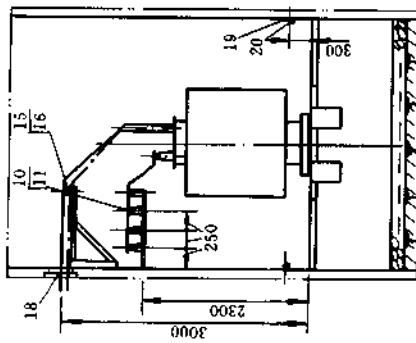
设备材料表					
编号	名称	型号及规格	单位	数量	备注
1	电力变压器	工程设计选定	台	1	按地见 88D263-96
2	负荷开关[隔离开关]	FN2-10 FN3-10[GNE-10(6)T/400]	台	1	19 22[15]
3	操纵机构	CS4,CS4-T CS3,CS3-T[CS6-TT]	台	1	39 38[36]
4	电缆	工程设计选定	m	—	—
5	电缆头	10(6)kV	个	1	—
6	电缆芯端接头	按电缆芯截面选定	个	3	95
7	电缆支架	型式 3	个	3	91
8	电缆保护管	工程设计选定	m	—	—
9	高压母线	LMY-40×4	m	~9	—
10	高压母线夹具	按母线截面选定	副	5	65
11	高压支柱绝缘子	ZA-10(6)Y	个	5	56
12	高压母线支架	—	个	1	81
13	低压相母线	见附表	m	~12	—
14	低压中性母线	见附表	m	~4	—
15	低压母线夹具	按母线截面选定	副	6	65
16	电车道绝缘子	WX-01	个	6	按 88D 263-55 标配
17	低压母线支架	型式 3[2]	个	1	73
18	低压母线穿墙板	型式 3[2]	套	1	70
19	接地线	扁钢 25×4	m	~11	88D563
20	固定钩	—	个	10	—18
21	临时接地接线柱	—	个	1	88D563-25

附注: 1. 变压器中性点及外壳、开关及其操纵机构的金属底座、电缆(头)金属外皮(壳)、电缆保护管以及所有金属支架都必须可靠接地。
 2. 侧墙上低电压出线孔的平面位置见工程设计图纸。
 3. “[]”内数字用于变压器容量≤630kV·A,该档变压器用保护网见 88D263-120。

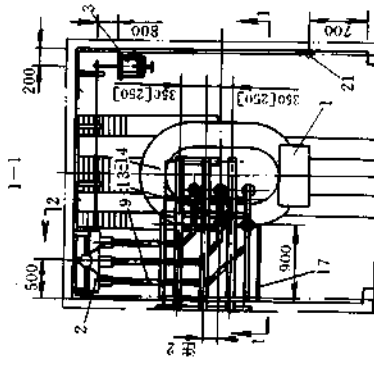
图样号	88D264
页	46



2-2



1-1



平面

图 ZY5-11 变压器室布置图
(平面布置,附设式高式)

主接线	变压器容量 kV·A	低压母线(LMY) 尺寸/mm	
		相	中性
	200	40×4	40×4
	250	40×4	40×4
	315	50×5	40×4
	400	60×6	40×4
	500	80×6	50×5
	630	80×8	50×5
	800	100×8	60×6
	1000	120×10	80×6
1250	2(100×10)	80×8	
1600	2(120×10)	80×10	

设备材料表						
序号	名称	型号及规格	单位	数量	88D263 页次	备注
1	电力变压器	工程设计选定	台	1	—	按地见 88D263 —96
2	隔离开关	GN6-10(6)T/400	台	1	11	用于 \leq 630kV/A
	负荷开关	FN3-10	台	1	25	用于 \geq 800kV/A
3	隔离开关操动机构	CS6-II	台	1	35	
	负荷开关操动机构	CS3	台	1	38	
4	户外式穿墙套管	CWLB-10/400	个	3	52	
5	避雷器	FS4-10(6)	台	3	43	
6	高压架空引入线拉紧装置		套	1	92	
7	高压母线	LMY-40×4	m	~12	—	
8	高压母线夹具	按母线截面选定	副	3	65	
9	高压支柱绝缘子	ZA-10(6)Y	个	3	56	
10	高压母线支架		个	1	78	
11	低压相母线	见附表	m	~12	—	
12	低压中性母线	见附表	m	~4	—	
13	低压母线夹具	按母线截面选定	副	3	65	
14	电车线绝缘子	WX-01	个	3	56	按88D 263— 55 装配
15	低压母线支架	型式6[5]	套	1	78	
16	低压母线夹板		副	1	69	
17	接地线	扁钢 25×4	m	~11	88D563	
18	固定钩		个	10	—18	
19	临时接地接线柱		个	1	88D563 —25	
20	低压母线穿墙板	型式3[2]	个	1	70	

1-1

平面

主接线

变压器 容量 kV·A	低压母线(LMY) 尺寸/mm	
	相	中性
200	40×4	40×4
250	40×4	40×4
315	50×5	40×4
400	60×6	40×4
500	80×6	50×5
630	80×8	50×5
800	100×8	60×6
1000	120×10	80×6
1250	2(100×10)	80×8

附注: 1. 变压器中性点及外壳、避雷器、开关及其操动机构的金属底座以及所有金属支架都必须可靠接地。
 2. 墙上低压母线出线孔的平面位置见工程设计图纸。
 3. “[]”内数字用于变压器容量 $\leq 630\text{kV}\cdot\text{A}$ 。该当变压器用保护网见88D263—120。

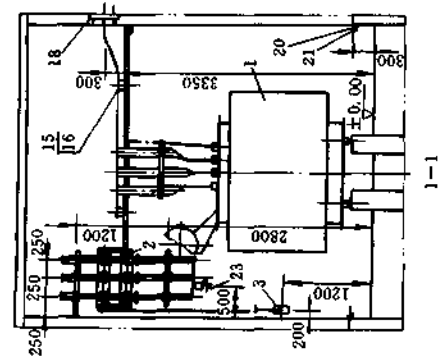
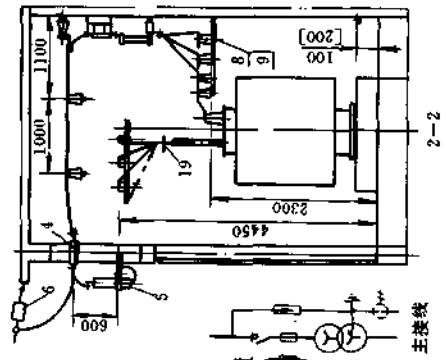
设备材料表

编号	名称	型号及规格	单位	数量	88D263 页次	备注
1	电力变压器	工程设计选定	台	1	—	接地见88D263—96
2	隔离开关	GN6-10(6)T/400	台	1	14	用于≤630kVA
		RN1-10(6)/见附表	个	3	42	用于>630kVA
3	熔断器	FN2-10R	台	1	20	用于>630kVA
		FN3-10R	台	23	23	800kVA
4	负荷开关带熔断器	CS6-1T	台	1	36	
		CS4, CS4-T	台	1	39	
5	负荷开关带熔断器	CS3, CS3-T	台	1	38	
		CWLB-10/400	个	3	53	
6	户外式穿墙套管	FS4-10(6)	台	3	—	参照88D263—43
7	避雷器		套	1	92	
8	高压架空引入线拉紧装置	LMY-40×4	m	~24	—	
9	高压母线夹具	按母线截面选定	副	16	65	
10	高压支柱绝缘子	ZA-10(6)Y	个	16	56	
11	高压母线支架	型式1	个	2	76	
12	高压母线支架	型式2	个	1	77	
13	低压相母线	见附表	m	~15	—	
14	低压中性母线	见附表	m	~5	—	
15	载压母线夹具	按母线截面选定	副	9	65	
16	电车线绝缘子	WX-01	个	9	56	按88D263—55装配
17	低压母线桥架	型式3[2]	套	1	84	
18	低压母线穿墙板	型式3[2]	副	1	70	
19	载压母线夹板	扁钢25×4	m	~11	88D563	
20	接地线		个	10	—18	
21	固定角		个	1	88D563—25	
22	临时接地接线柱	型式16	个	1	76	
23	高低压母线支架(三)		个	1	—	

附注: 1. 变压器中性点及外壳、避雷器、开关及其操动机构的金属底座以及所有金属支架都必须可靠接地。
 2. 容量≤630kV·A变压器用保护网见88D263—120。
 3. 槽道上低压母线出现的孔的平面位置见工程设计图纸。
 4. “□”内数字用于变压器容量≤630kV·A。

变压器室布置图
方案 F1-29、33

图号 88D264
页 65



变压器容量 kV·A	熔断器电流 A		低压母线(LMY)尺寸 mm	
	熔管	熔丝	相	中性
200	6kV	10kV	40×4	40×4
250	75/40	20/20	40×4	40×4
315	75/50	50/30	40×4	40×4
400	75/50	50/40	50×5	40×4
500	75/75	50/50	60×6	40×4
630	100/100	100/75	80×8	50×5
800	200/150	100/75	100×8	60×6
1000	200/150	100/100	120×10	80×6
1250	200/200	150/150	2(100×10)	80×8

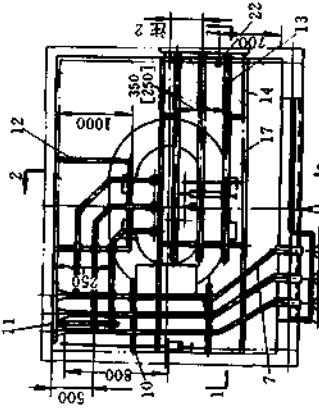


图 ZY5-13 变压器室布置图
(宽面布置, 附设式低式, 前方架空进线)

设备材料表						
编号	名称	型号及规格	单位	数量	88D263 页次	备注
1	电力变压器	工程设计选定	台	1	—	接地见 33D263—96
2	电缆	工程设计选定	m	—	—	
3	电缆头	10(6)kV	个	1	—	
4	电缆芯端接头	按电缆芯截面选定	个	3	95	
5	电缆支架	型式 3	个	2	91	
6	电缆头支架		个	1	90	
7	电缆保护管	工程设计选定	m	—	—	
8	高压母线	LMY-40×4	m	~5	—	
9	高压母线夹具	按母线截面选定	副	3	65	
10	高压支柱绝缘子	ZA-10(6)Y	个	3	56	
11	高压母线支架		个	1	78	
12	低压相母线	见附表	m	~15	—	
13	低压中性母线	见附表	m	~5	—	
14	低压母线夹具	按母线截面选定	副	9	65	
15	电车线路绝缘子	WX-01	个	9	56	按 88D263—55 装配
16	低压母线桥架	型式 3[2]	个	1	84	
17	低压母线穿墙板	型式 3[2]	套	1	70	
18	低压母线夹板		副	1	69	
19	接地线	扁钢 25×4	m	~11	88D563	
20	固定钩		个	10	—18	
21	临时接地接线柱		个	1	88D563—25	

附注：1. 变压器中性点及外壳、电缆(头)金属外皮(壳)、电缆保护管以及所有金属支架都必须可靠接地。
 2. 侧墙上低压母线出线孔的平面位置见工程设计图纸。
 3. “[]”内数字用于变压器 ≤ 630kV·A，该档变压器用保护网见 88D263—120。

主接线	变压器容量 kV·A	低压母线(LMY) 尺寸/mm	
		相	中性
	200	40×4	40×4
	250	40×4	40×4
	315	50×5	40×4
	400	60×6	40×4
	500	80×6	50×5
	630	80×8	50×5
	800	100×8	60×6
	1000	120×10	80×6
1250	2(100×10)	80×6	
1600	2(120×10)	80×10	

图 ZY5-14 变压器室布置图
(宽面布置, 车间内式, 有风坑和储油池)

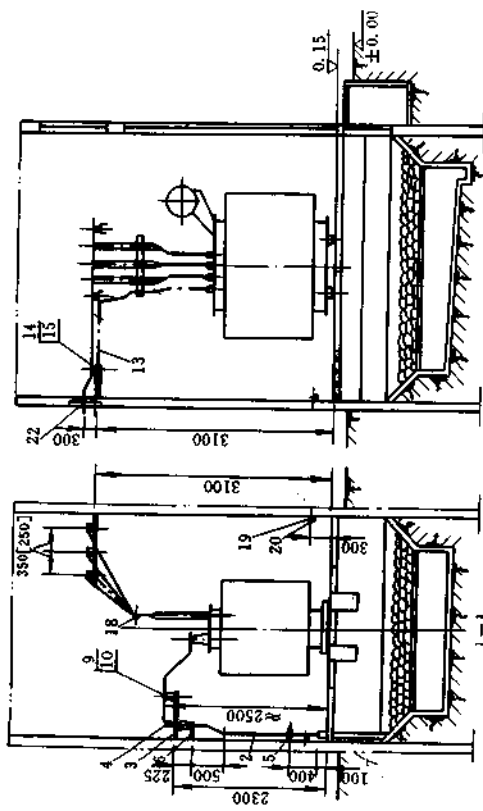
变压器室布置图 方案 F5-2.3		图编号	88D264
		页	81

设备材料表

编号	名称	型号及规格	单位	数量	88D263 页次	备注
1	电力变压器	工程设计选定	台	1	—	接地见 88D263 —96
2	电缆	工程设计选定	m	—	—	
3	电缆头	10(6)kV	个	1	—	
4	电缆芯端接头	按电缆芯截面选定	个	3	95	
5	电缆支架	型式 3	个	2	91	
6	电缆头支架	—	个	1	90	
7	电缆保护管	工程设计选定	m	—	—	
8	高压母线	LMY-40×4	m	~5	—	
9	高压母线夹具	按母线截面选定	副	3	65	
10	高压支柱绝缘子	ZA-10(6)Y	个	3	56	
11	高压母线支架	—	个	1	78	
12	低压相母线	见附表	m	~15	—	
13	低压中性母线	见附表	m	~5	—	
14	低压母线夹具	按母线截面选定	副	9	65	
15	电线路绝缘子	WX-01	个	9	56	按 88D263 —55 装配
16	低压母线支架	型式 8[5]	个	2	76	
17	低压母线支架	型式 3[2]	套	1	78	
18	低压母线夹板	—	副	1	69	
19	接地线	扁钢 25×4	m	~11	88D563	
20	固定钩	—	个	10	—18	
21	临时接地接线柱	—	个	1	88D563 —25	
22	低压母线穿墙板	型式 3[2]	个	1	70	

附注：1. 变压器中性点及外壳、电缆(头)金属外皮(壳)、电缆保护管以及所有金属支架都必须可靠接地。
2. 后墙上低压母线出线孔的平面位置见工程设计图纸。
3. “[]”内数字用于变压器容量≤630kV·A。该挡变压器用保护网见 88D263—120。

变压器室布置图 方案 F6-1	
图集号	88D264
页	82



主接线	变压器容量 kV·A	低压母线(LMY) 尺寸/mm	
		相	中性
	200	40×4	40×4
	250	40×4	40×4
	315	50×5	40×4
	400	60×6	40×4
	500	80×6	50×5
	630	80×8	50×5
	800	100×8	60×6
	1000	120×10	80×6
	1250	2(100×10)	80×8
	1600	2(120×10)	80×10

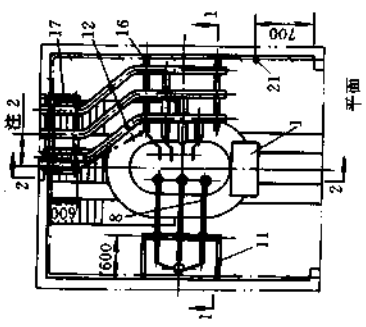


图 ZY5-15 变压器室布置图
(窄面布置, 车室内式, 有风坑和储油池)

设备材料表						
编号	名称	型号及规格	单位	数量	88D263 页次	备注
1	电力变压器	工程设计选定	台	1	—	接地见 88D263—96
2	电缆	工程设计选定	m	—	—	
3	电缆头	10(6)kV	个	1	—	
4	电缆芯端接头	按电缆芯截面选定	个	3	95	
5	电缆支架	型式 3	个	2	91	
6	电缆头支架		个	1	90	
7	电缆保护管	工程设计选定	m	—	—	
8	高压母线	LMY-40×4	m	~6	—	
9	高压母线夹具	按母线截面选定	副	3	65	
10	高压支柱绝缘子	ZA-10(6)Y	个	3	56	
11	高低压母线支架		套	1	74	
12	低压相母线	见附表	m	~9	—	
13	低压中性母线	见附表	m	~3	—	
14	低压母线夹具	按母线截面选定	副	3	65	
15	电线路路绝缘子	WX-01	个	3	56	按 88D263—55 装配
16	接地线	扁钢 25×4	m	~11	88D563	
17	固定钩		个	10	—18	
18	临时接地接线柱		个	1	88D563—25	
19	低压母线夹板		副	1	69	
20	低压母线穿墙板	型式 3[2]	个	1	70	

附注：1. 变压器中性点及外壳、电缆(头)金属外皮(壳)、电缆保护管以及所有金属支架都必须可靠接地。
 2. “[]”内数字用于变压器容量≤630kV·A。该档变压器用保护网见 88D263—120。

主接线	变压器容量 kV·A	低压母线(LMY)尺寸/mm	
		相	中性
	200	40×4	40×4
	250	40×4	40×4
	315	50×5	40×4
	400	60×6	40×4
	500	80×6	50×5
	630	80×8	50×5
	800	100×8	80×6
	1000	120×10	80×6
1250	2(100×10)	80×8	
1600	2(120×10)	80×10	

图 ZY5-16 变压器室布置图
 (宽面布置, 车间内式, 无风坑, 有储油池)

设备材料表

编号	名称	型号及规格	单位	数量	88D263 页次	备注
1	电力变压器	工程设计选定	台	1	—	接地见 88D263-96
2	隔离开关	GN6-10(6)T/400	台	1	11	用于 $\leq 630kVA$
	负荷开关	FN3-10	台	1	25	用于 $\geq 800kVA$
3	隔离开关, 操动机构	CS6-1T	台	1	35	
	负荷开关, 操动机构	CS3	台	1	38	
4	电缆	工程设计选定	m	—	—	
5	电缆头	10(6)kV	个	1	—	
6	电缆芯端接头	按电缆芯截面选定	个	3	95	
7	电缆支架	型式 3	个	3	91	
8	电缆保护管	工程设计选定	m	—	—	
9	高压母线	LMY-40×4	m	~6	—	
10	高压母线夹具	按母线截面选定	副	3	65	
11	高压支柱绝缘子	ZA-10(6)Y	个	3	56	
12	高压母线支架		个	1	78	
13	低压相母线	见附表	m	~9	—	
14	低压中性母线	见附表	m	~3	—	
15	低压母线夹具	按母线截面选定	副	3	65	
16	电线路绝缘子	WX-01	个	3	56	按 88D263-55 选配
17	低压母线支架	型式 6[5]	套	1	78	
18	接地线	扁钢 25×4	m	~11	88D563	
19	固定钩		个	10	—18	
20	临时接地接线柱		个	1	88D563-25	
21	低压母线穿墙板	型式 3[2]	个	1	70	

附注: 1. 变压器中性点及外壳、开关及其操动机构的金属底座、电缆(头)金属外皮(壳)、电缆保护管以及所有金属支架都必须可靠接地。
 2. 侧墙上低压母线出线孔的平面位置见工程设计图纸。
 3. “[]”内数字用于变压器容量 $\leq 630kV \cdot A$ 。
 4. 容量 $\leq 630kV \cdot A$ 变压器用保护网见 88D263-120。

变压器室布置图
方案 F8-5.8

图号 88D264
页 103

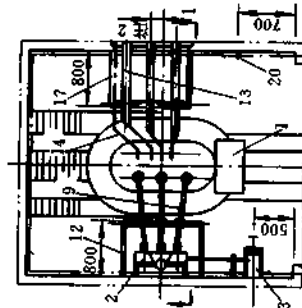
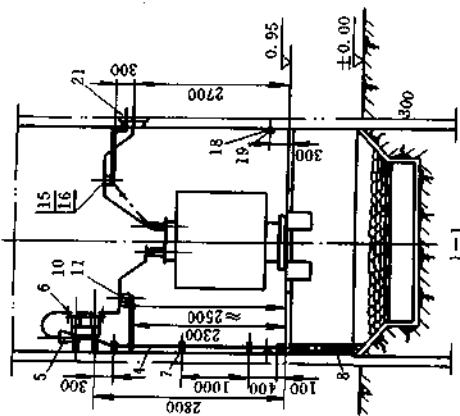
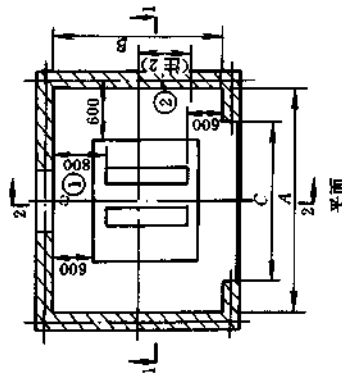
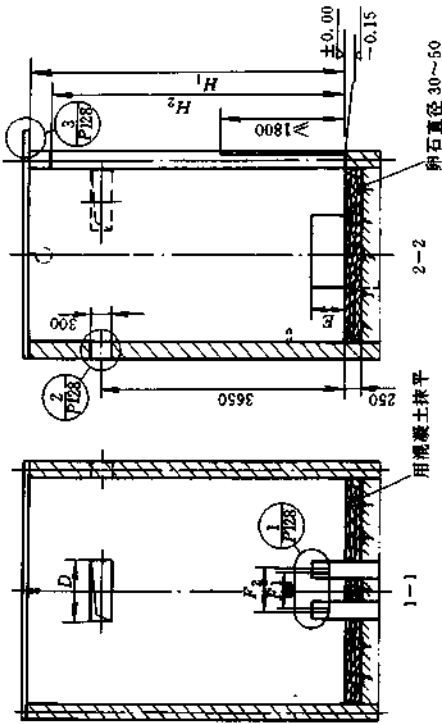


图 ZY5-17 变压器室布置图
(窄面布置, 车室内式, 无风坑, 有储油池)

主接线	变压器容量 kV·A	低压母线(LMY) 尺寸/mm	
		相	中性
	200	40×4	40×4
	250	40×4	40×4
	315	50×5	40×4
	400	60×6	40×4
	500	80×6	50×5
	630	80×8	50×5
	800	100×8	60×6
	1000	120×10	80×6
	1250	2(100×10)	80×8
	1600	2(120×10)	80×10

附注:

1. 变压器室土建设计技术要求见 88D264 第 129 页亦可参看刘介才主编《工厂供电简明设计手册》(机械工业出版社 1993 版)表 ZD7-13, 下同。
2. 侧墙上低母线出线孔中心线偏离变压器室中心线的尺寸由工程设计决定; 往门侧偏离多少不限; 往相反方向偏离不得大于 200。
3. 表中 H_1 、 H_2 内数字为变压器需要在变压器室内吊芯用的。



变压器室 方案编号	变压器容量 kV·A	推荐尺寸/mm										低母线 墙间位置	
		A	B	C	D	E	F ₁	F ₂	H ₁	H ₂	①	②	
K1-16	200~400	3360	3060	2400	900	200	550	660	4800			①	
K1-17	500~630	3560	3160	2400	900	200	660	820	<5200 <4800	4500		②	
K1-20	800~1000	4160	3260	3000	1100	100	820	1070	<6000 <6400			①	
K1-21	1250	4160	3650	3000	1100	100	820	1070	4800			②	

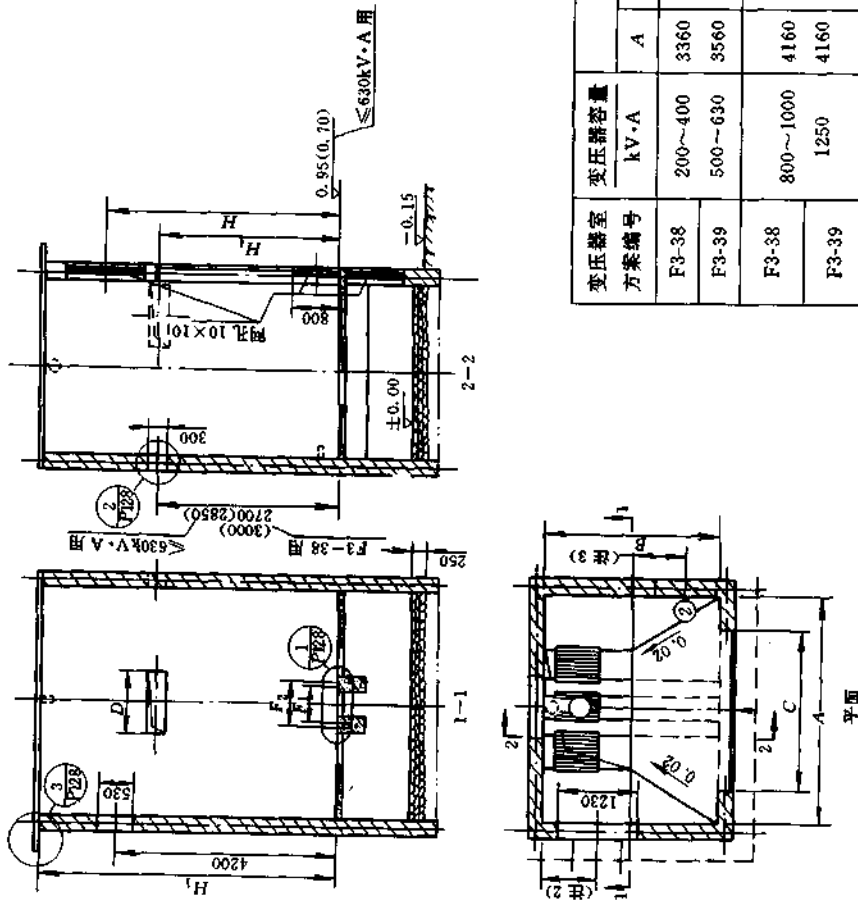
图 ZY5-18 变压器室土建设计任务图
(敞开式, 窄面布置, 附设式低式)

变压器室土建设计任务图		图编号	88D264
方案 K1-16、17、20、21		页	111

变压器容量 kV·A	夏季通风计算 温度 ℃	进出风窗中心 高差 h mm	进出风窗面积 之比	通风窗最小有效面积 m ²		
				进风窗		出风
				门上	门下	百页窗
800~1000	30	—	—	—	—	
1250	35	4200	1:1	1.05	2.1	
	30	—	—	—	—	
200~630	35	4650	1:1	1.38	2.76	
	30	—	—	—	—	
—	35	3500	1:1	0.75	1.5	

附注:

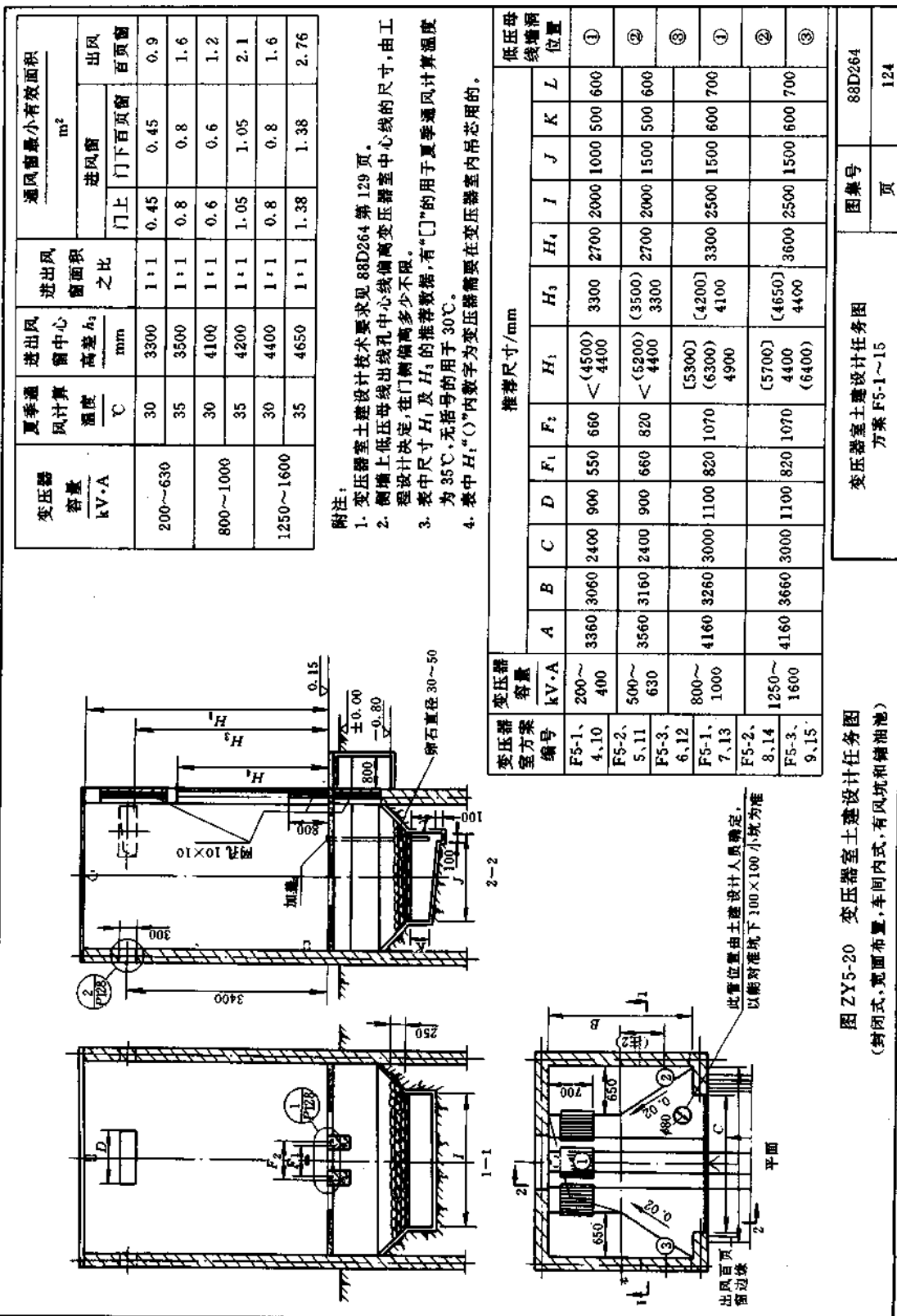
1. 变压器室土建设计技术要求见 88D264 第 129 页。
2. 侧墙上高压穿墙套管安装孔中心线离后墙的尺寸,由工程设计决定,不得大于 1000。
3. 侧墙上低压出线中心线偏离变压器室中心线的尺寸,由工程设计决定,不得少于 100。
4. 表中 H₁“○”内数字为变压器需要在变压器室内吊芯用的。



变压器室 方案编号	变压器容量 kV·A	推荐尺寸/mm										低压母线 槽洞位置			
		A	B	C	D	F ₁	F ₂	H ₁	H	H ₂	H ₃	①	②		
F3-38	200~400	3360	3060	2400	900	550	660	—	—	—	—	3500	2700	①	—
F3-39	500~630	3560	3160	2400	900	660	820	5650	—	—	—	3500	2700	②	—
F3-38	800~1000	4160	3260	3000	1100	820	1070	5650	<(6000)	—	—	4200	3360	①	—
F3-39	1250	4160	3660	3000	1100	820	1070	5650	<(6400)	—	—	4650	3600	②	—

图 ZY5-19 变压器室土建设计任务图
(封闭式、宽面布置、附设式高式)

变压器室土建设计任务图 方案 F3-38、39	图集号	88D264
	页	121



变压器容量 kV·A	夏季通风计算温度 ℃	进出风窗中心 高差 H_2 mm	进出风窗面积之比	通风窗最小有效面积 m ²		
				进风窗		
				门上	门下百页窗	出风百页窗
200~630	30	3300	1:1	0.45	0.45	0.9
800~1000	35	3500	1:1	0.8	0.8	1.6
	30	4100	1:1	0.6	0.6	1.2
1250~1600	35	4200	1:1	1.05	1.05	2.1
	30	4400	1:1	0.8	0.8	1.6
	35	4650	1:1	1.38	1.38	2.76

附注：
 1. 变压器室土建设计技术要求见 88D264 第 129 页。
 2. 侧墙上低压出线孔中心线偏离变压器室中心线的尺寸，由工程设计师定，在门侧偏多少不限。
 3. 表中尺寸 H_1 及 H_2 的推荐数据，有“[]”的用于夏季通风计算温度为 35℃，无括号的用于 30℃。
 4. 表中 H_1 、“()”内数字为变压器需要在变压器室内吊芯用的。

变压器室方案编号	变压器容量 kV·A	推荐尺寸/mm										低压母线槽位置			
		A	B	C	D	F ₁	F ₂	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄		I	J	K	L
F5-1、4、10	200~400	3360	3060	2400	900	550	660	<(4500) 4400	3300	2700	2000	1000	500	600	①
F5-2、5、11	500~630	3560	3160	2400	900	660	820	<(5200) 4400	(3500) 3300	2700	2000	1500	500	600	②
F5-3、6、12	800~1000	4160	3260	3000	1100	820	1070	[5300] (6300)	[4200] 4100	3300	2500	1500	600	700	③
F5-1、7、13	1250~1600	4160	3660	3000	1100	820	1070	[5700] 4400	[4650] 4400	3600	2500	1500	600	700	①
F5-2、8、14	1250~1600	4160	3660	3000	1100	820	1070	[5700] 4400	[4650] 4400	3600	2500	1500	600	700	②
F5-3、9、15	1250~1600	4160	3660	3000	1100	820	1070	[5700] 4400	[4650] 4400	3600	2500	1500	600	700	③

图 ZY5-20 变压器室土建设计任务图
(封闭式, 宽面布置, 车室内式, 有风坑和储油池)

变压器室土建设计任务图 方案 F5-1~15		图集号	88D264
		页	124

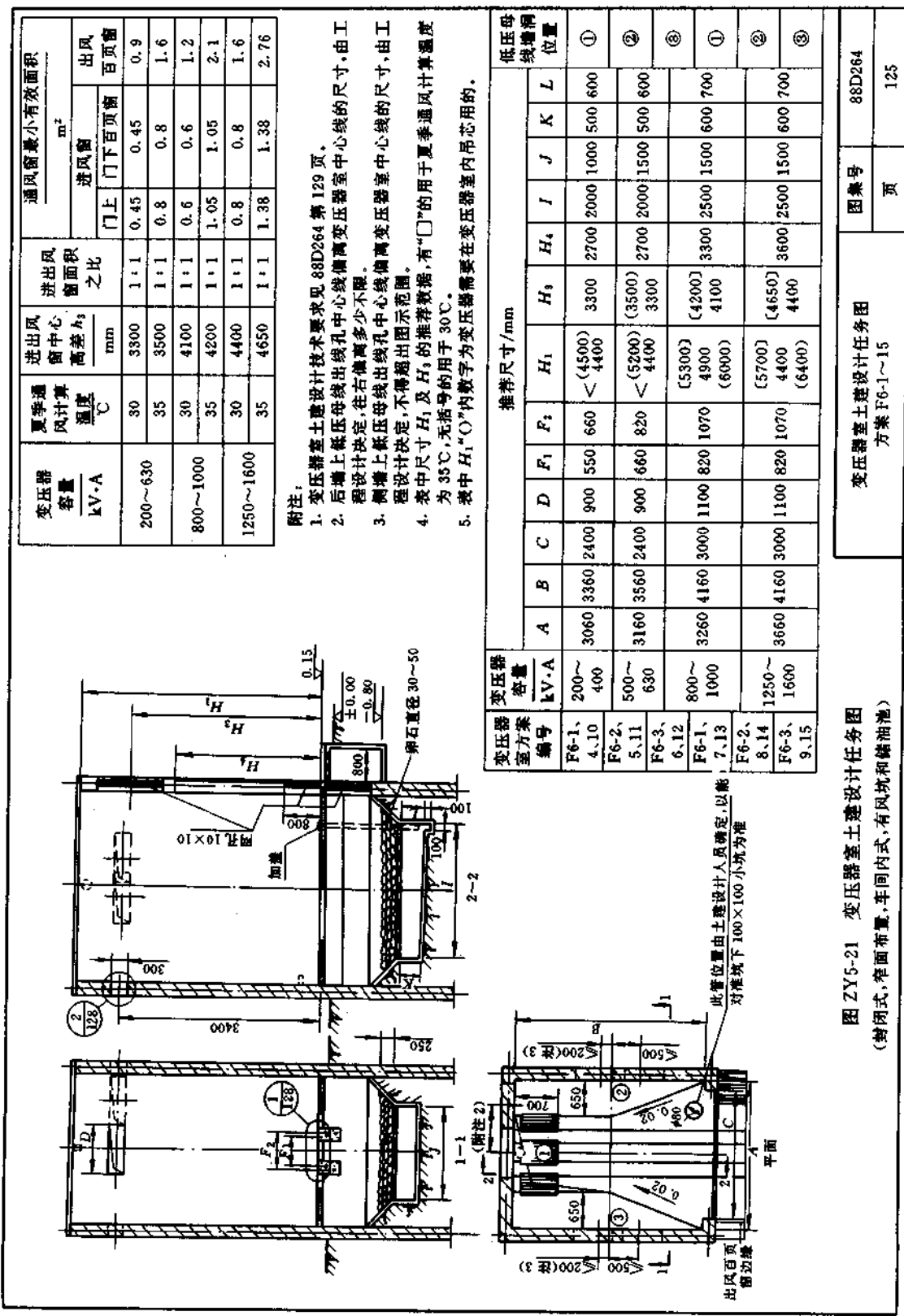


图 ZY5-21 变压器室土建设计任务图
(封闭式,窄面布置,车室内式,有风坑和储油池)

变压器室土建设计任务图
方案 F6-1~15

图集号 88D264
页 125

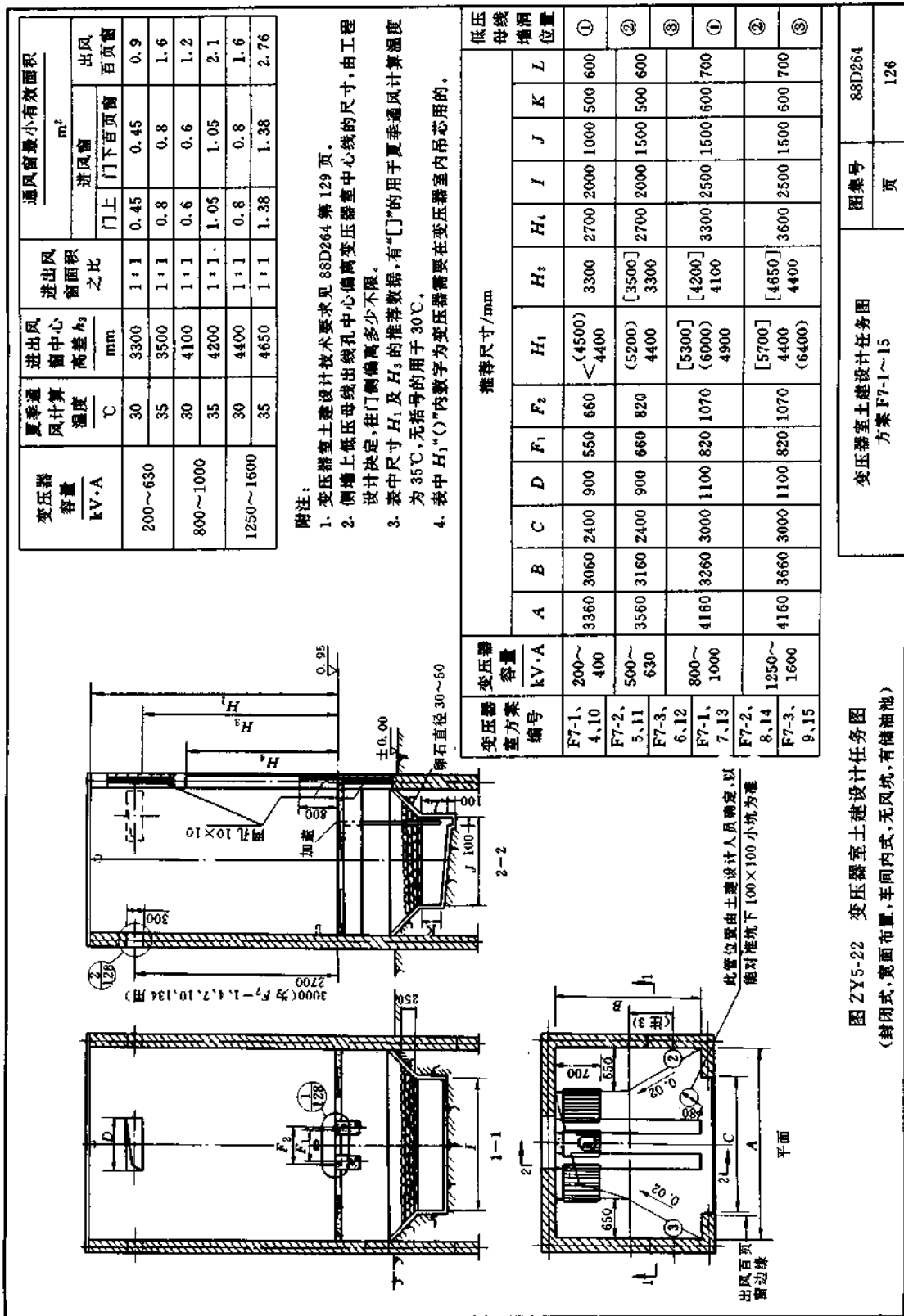


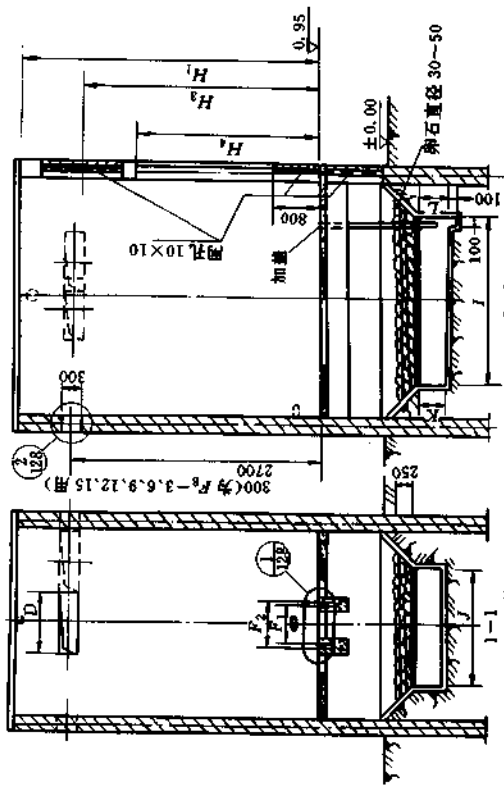
图 ZY5-22 变压器室土建设计任务图

(封闭式, 屋面布置, 车间内式, 无风坑, 有储油池)

变压器容量 kV·A	夏季通风计算 温度 ℃	进出风窗中心 高差h mm	进风窗面积 之比	通风窗最小有效面积 /m ²		
				进风窗	出风窗	出风窗面积 之比
200~630	30	3300	1:1	0.45	0.45	0.9
	35	3500	1:1	0.8	0.8	1.6
800~1000	30	4100	1:1	0.6	0.6	1.2
	35	4200	1:1	1.05	1.05	2.1
1250~1600	30	4400	1:1	0.8	0.8	1.6
	35	4650	1:1	1.38	1.38	2.76

附注:

1. 变压器室土建设计技术要求见 88D264 第 129 页。
2. 后墙上低压母线出线孔中心线偏离变压器室中心线的尺寸,由工程设计师决定,在右偏离多少不限。
3. 侧墙上低压母线出线孔中心线偏离变压器室中心线的尺寸,由工程设计师决定,不得超出图示范围。
4. 表中尺寸 H_1 及 H_3 的推荐数据,有“[]”的用于夏季通风计算温度为 35℃,无括号的用于 30℃。
5. 表中 H_1 “()”内数字为变压器需要在变压器室内吊芯用的。



变压器室方案 编号	变压器容量 kV·A	推荐尺寸/mm										低母线 线槽两 位置							
		A	B	C	D	F ₁	F ₂	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	I	J	K	L	①	②	③	
F8-1、 4.10	200~ 400	3060	3360	2400	900	550	660	(4500) 4400	3300	2700	2000	1000	500	600					
F8-2、 5.11	500~ 630	3160	3560	2400	900	660	820	(5200) 4400	[3500] 3300	2700	2000	1500	500	600					
F8-3、 6.12	800~ 1000	3260	4160	3000	1100	820	1070	[5300] (6000) 4900	[4200] 4100	3300	2500	1500	600	700					
F8-1、 7.13	1250~ 1600	3660	4160	3000	1100	820	1070	[5700] 5200 (6400)	[4650] 4400	3600	2500	1500	600	700					

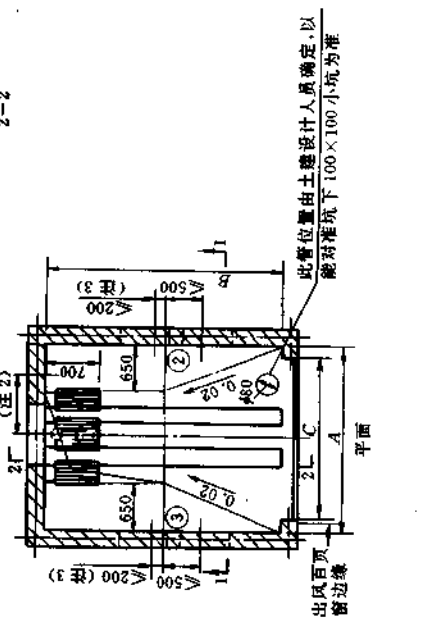


图 ZY5-23 变压器室土建设计任务图
(封闭式,窄面布置,车室内式,无风坑,有储油池)

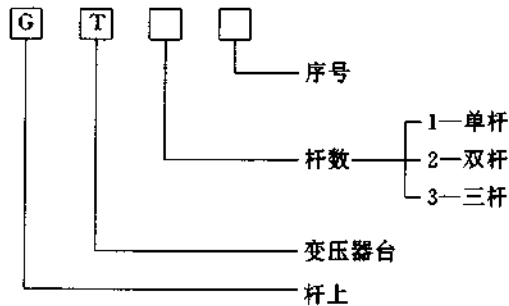
变压器室土建设计任务图 方案 F8-1~15	图集号 88D264
	页 127

3. 《杆上变压器台》(86D265) 标准图

本图集适用范围为：①一次电压为 6~10kV，二次电压为 0.23/0.4kV、容量为 30~400kV·A；②30kV·A 的变压器采用单柱式变压器台，40~400kV·A 的变压器采用双柱式或三柱式变压器台，共 16 种结构方案；③按照一般正常环境设计，未考虑高海拔与地震区的特殊问题，对于环境温度低于 -10℃ 的地区，带电度表的配电箱内应有加温及保温设施；④变压器台的电杆不能作为线路终端杆使用，连接到变压器台的终端杆距离不应大于 25m，并放松导线拉力。

本图集有关的主要设备选择：①变压器选用 SL7 型或 S9 型；②高压跌开式熔断器选用可带负荷分合的 RW10-10 (F) 型，也可使用 RW3-10 (G)、RW4-10 (G)、RW7-10 等型产品，其主要技术数据如表 ZY5-20 所示；③低压刀熔开关（户外式）选用 HRW0 型，其主要技术数据如表 ZY5-21 所示；④并联电容器（户外低压型）选用 ZBB0.4 型，其主要技术数据如表 ZY5-22 所示；⑤低压配电屏选用 WBX (T) 系列开关箱（湖南开关厂生产），也可现场自制或选用其它型号产品；⑥电杆采用 $\phi 170\sim 190\text{mm}$ G 级以上的环型钢筋混凝土电杆（GB369—84）或环型预应力混凝土电杆（GB4623—84）。

本图集关于变压器台型式代号的含义如下：



本图集的各型变压器台的结构示意图和特征说明如表 ZY5-22 所示。

限于篇幅，仅选四种型式的杆上变压器台的安装图，如图 ZY5-24~27 所示，供参考。

表 ZY5-20 杆上变压器台选用的高压跌开式熔断器

序号	型 号	额定电压 kV	熔管额定电流 A	额定开断容量 MV·A	开断容量下限 MV·A	分合负荷电流 A	生 产 厂
1	RW10-10 (F) /50	10	50	200	40	50	北京第三开关厂
2	RW10-10 (F) /100	10	100	200	40	100	
3	RW10-10 (F) /200	10	200	200	40	200	
4	RW3-10 (G) /100	10	100	100	10	—	南京电瓷厂
5	RW3-10 (G) /200	10	200	200	20	—	
6	RW4-10 (G) /50	10	50	80	7.5	—	
7	RW4-10 (G) /100	10	100	124	10	—	西安高压电瓷厂
8	RW7-10/50	10	50	75	10	—	
9	RW7-10/100	10	100	100	30	—	

表 ZY5-21 杆上变压器台选用的低压刀熔开关

序号	型 号	额定电压 V	额定电流 A	刀开关交流分断能力 A	适用变压器容量 kV·A	生 产 厂
1	HRW0-400/1	380	400	400	30~200	北京第三开关厂
2	HRW0-600/1	380	600	600	250~400	

表 ZY5-22 杆上变压器台选用的低压并联电容器

序号	型 号	额定电压 /V	额定容量 /kvar	额定电流 /A	备 注
1	ZBB0.4-28W	400	28	40.6	采用湘潭电容器厂数据， 也可采用其它类似产品组装
2	ZBB0.4-42W	400	42	60.6	
3	ZBB0.4-48W	400	48	69.3	
4	ZBB0.4-60W	400	60	86.6	
5	ZBB0.4-75W	400	75	108.3	
6	ZBB0.4-90W	400	90	130	
7	ZBB0.4-120W	400	120	173	
8	ZBB0.4-150W	400	150	216	

表 ZY5-23 杆上变压器台的型式、结构和特征 (据 86D265)

序号	型式	变压器容量	结 构 示 意 图	特 征 说 明
1	GT11	30kV·A		单杆, 高压进线与低压出线方向成 90°, 低压出线经刀熔开关直接接到架空出线, 无计量装置
2	GT12	30kV·A		单杆, 高低压线路方向一致, 低压出线经刀熔开关直接接到架空出线, 无计量装置

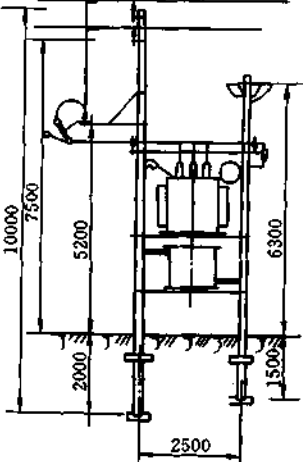
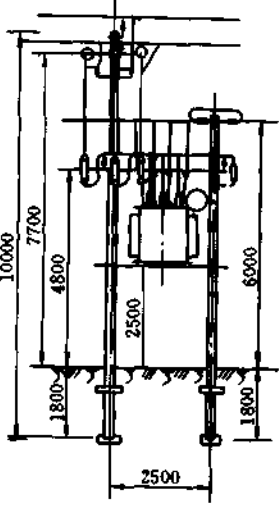
(续)

序号	型式	变压器容量	结构示意图	特征说明
3	GT13	30kV·A		<p>单杆, 高压进线与低压出线方向成 90°, 低压侧经户外配电箱后用钢管穿线引至架空线, 可设低压计量装置</p>
4	GT14	30kV·A		<p>单杆, 高低压线路方向一致, 低压侧经户外配电箱后用钢管穿线引至架空线, 可设低压计量装置</p>
5	GT15	100kV·A 及以下		<p>单杆, 石或砖砌变压器台, 高低压进出线方向相反, 低压出线经羊角保险直接接到架空线, 无计量装置。避雷器采用带电拆卸线夹</p>

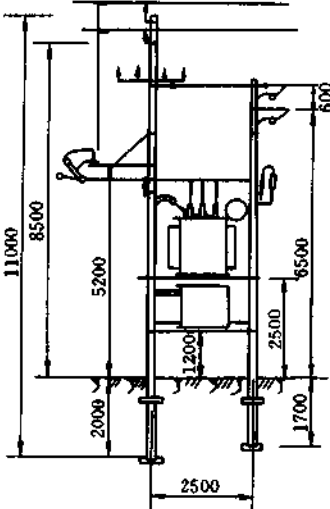
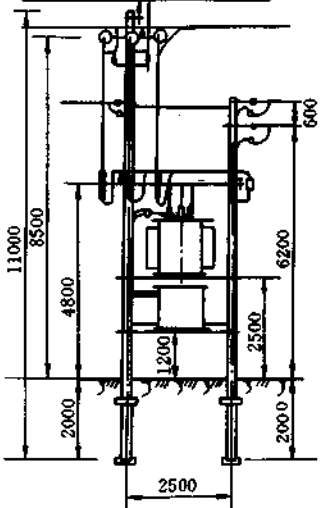
(续)

序号	型式	变压器容量	结构示意图	特征说明
6	GT21	315kV·A 及以下		<p>双杆，高低压线路同向，低压侧经刀熔开关后直接接到架空线，无计量装置。避雷器采用带电拆卸线夹</p>
7	GT22	125kV·A 及以下		<p>双杆，高低压线路同向，低压侧经户外低压配电箱后，穿管引线到架空线，可设低压计量装置。避雷器采用可带电拆卸线夹。如不受低压开关箱容量限制，本型变压器台容量可达 315kV·A</p>
8	GT23	400kV·A 及以下		<p>双杆，跌落式熔断器用悬臂支撑于顺高压线路一侧，低压侧经刀熔开关直接引线至架空线，无计量装置</p>

(续)

序号	型式	变压器容量	结构示意图	特征说明
9	GT24	50~ 315kV·A		<p>双杆，跌开式熔断器用悬臂支撑于顺高压线路一侧，低压侧经配电箱后，穿管引线到架空线，装熔断器侧不能出线，可装低压计量装置。可加装低压并联电容补偿装置</p>
10	GT25	50~ 400kV·A		<p>双杆，跌开式熔断器用悬臂支撑，垂直于高压线路一侧，低压侧经刀熔开关直接引线至架空线，高低压线路同方向</p>

(续)

序号	型式	变压器容量	结构示意图	特征说明
11	GT26	50~ 400kV·A	 <p>The diagram shows a transformer mounted on a two-post structure. Key dimensions are: total height 11000, height to the top of the transformer 8500, height to the top of the base 5200, base width 2500, distance between posts 2000, and a base offset of 1700. Internal components like the transformer core and windings are visible.</p>	<p>同GT24型(本表序号9),但电杆加高,最多可有三回路出线。可加装低压并联电容器补偿装置</p>
12	GT27	50~ 400kV·A	 <p>The diagram shows a transformer mounted on a two-post structure. Key dimensions are: total height 11000, height to the top of the transformer 8500, height to the top of the base 4800, base width 2500, distance between posts 2000, and a base offset of 2000. The transformer is oriented differently compared to GT26.</p>	<p>同GT26型(本表序号11),但跌落式熔断器的安装方向不同。可加装低压并联电容器补偿装置</p>

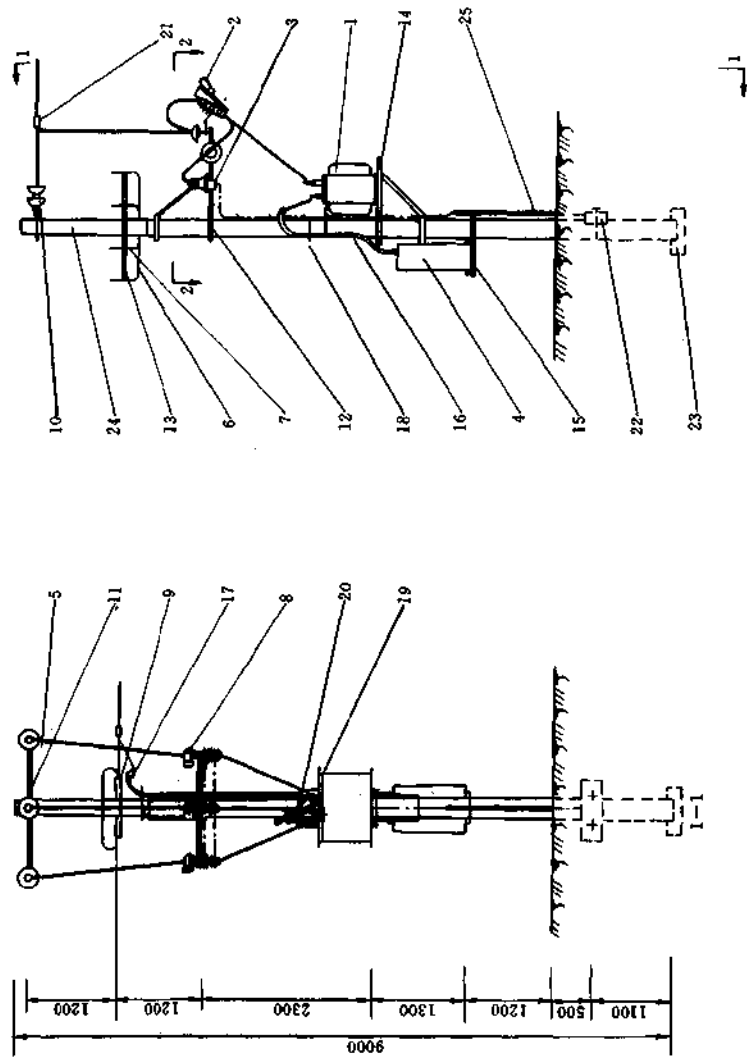
(续)

序号	型式	变压器容量	结构示意图	特征说明
13	GT31	50~ 400kV·A		<p>三杆，高压跌落式熔断器不装于变压器台上。当拉开跌落式熔断器后变压器不带电，便于检修。低压侧经刀闸开关后，直接引线接到架空线路。高低压线路同向，不装计量装置</p>
14	GT32	50~ 400kV·A		<p>同 GT31 (本表序号 13)，但装有低压配电箱，可加低压计量装置及低压并联电容器补偿装置</p>

4. 《落地式变压器台》(86D266) 标准图

本图集适用范围为：①变压器电压为 6~10/0.4kV，变压器容量为 400~1250kV·A；②布置型式为全露天式，并附设在工业企业或民用建筑物的低压配电室旁，有 15 种布置方案，其中 MB1、MB2 为密闭式，DD1~DD9 为单台落地式，DS1~DS4 为双台落地式。

本图集有关的主要设备选择：①电力变压器采用 SL7、S9 及 BS9 等型节能系列产品。②

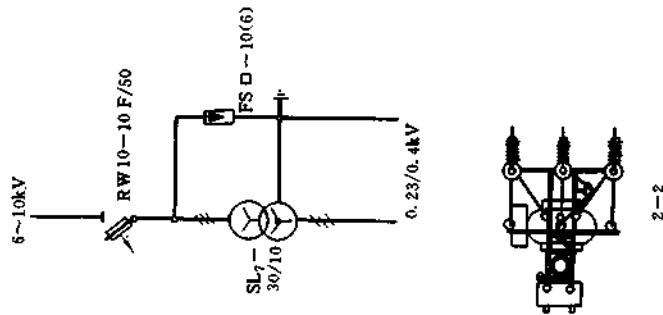


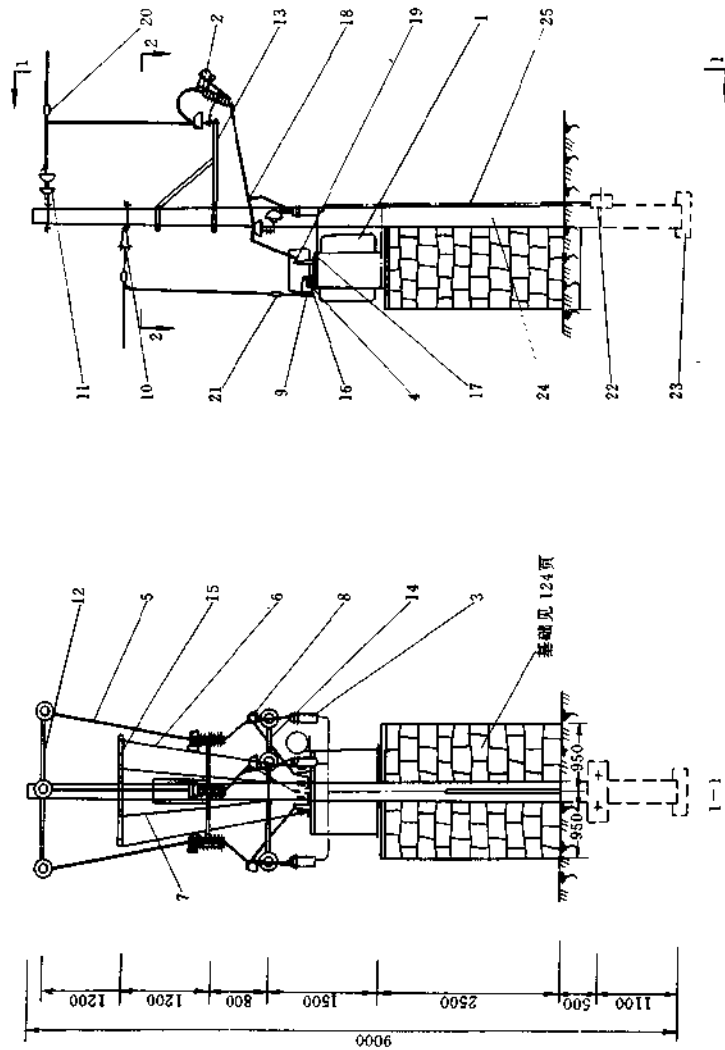
附注:括弧内规格用于 6kV 系统。

设备材料表

编号	名称	型号及规格	单位	数量	页	备注
1	电力变压器	SL7-30/10	台	1		
2	跌落式熔断器	RW10-10F/50,10A	个	3	46	
3	高压避雷器	FS□-10(6)	个	3	43	方式二
4	低压配电箱	WBX(T)-1A	个	1	122	
5	高压引下线	BLV-500-16	m	30		
6	低压引下线	BLV-500-16	m	20		
7	中性线	BLV-500-16	m	6		
8	高压针式绝缘子	P-15T(P-10T)	个	4		
9	低压碟式绝缘子	ED-1	个	8		
10	两张绝缘子串		串	3	116	
11	高压终端横担	L 70×7 l=2200	副	1	94	
12	熔断器避雷器支架(上)		副	1	48	
13	低压瓷横担(二)	L 63×6 l=1500	副	1	81	
14	变压器台架		副	1	114	
15	配电箱固定支架		副	1	38	
16	穿线钢管	Dg32	m	7		
17	防水弯头	Dg32	个	2		
18	钢管固定件		个	2	117	
19	镀锌铁丝	4.0	m	10		将变压器系于电杆
20	铜铝接线端子	DTL-16	个	7		
21	并沟线夹	JB-0	个	7		
22	卡盘	KP8	个	1	127	
23	底座	DP8	个	1	128	
24	电杆	φ170 或 φ190 9m	根	1		
25	接地装置		处	1	41	

图 ZY5-24 GT13 型变压器台安装图



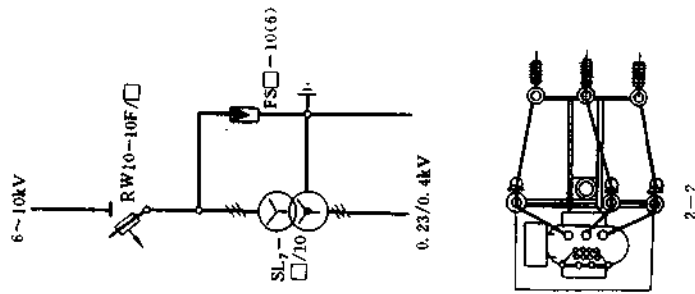


附注:括弧内规格用于6千伏系统。

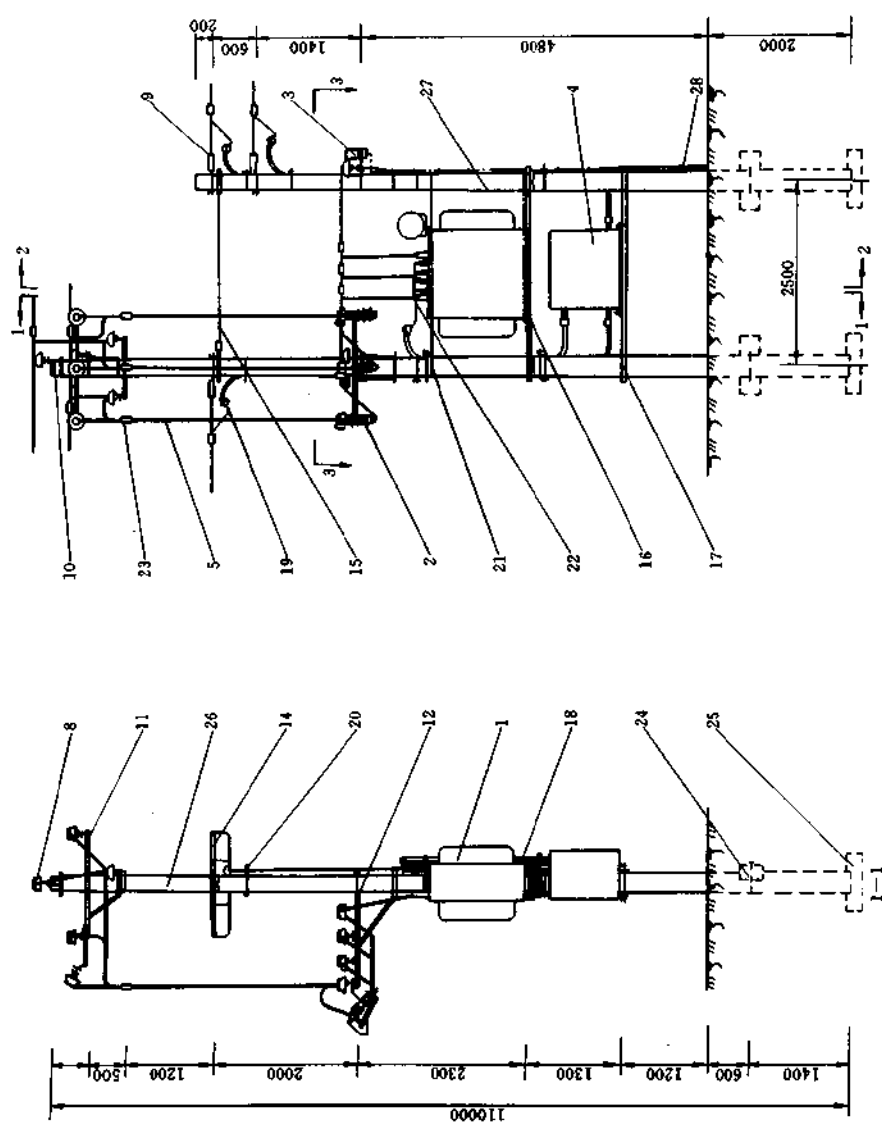
设备材料表

编号	名称	型号及规格	单位	数量	页	备注
1	电力变压器	SL7-□/10	台	1		
2	跌开式熔断器	RW10-10F/□	个	3	46 121	
3	高压避雷器	FS□-10(6)	个	3	44	
4	低压避雷器	FS2-0.5	个	3	42	
5	高压引下线	BLV-500-16	m	18		
6	低压引出线	BLV-500-□	m	10	121	
7	中性线	BLV-500-□	m	5	121	
8	高压针式绝缘子	P-15T(P-10T)	个	9		
9	低压针式绝缘子	PD-1T	个	4		
10	低压碟式绝缘子	ED-1	个	4		
11	两张绝缘子串		串	3	116	
12	高压终端横担	L 63×6 l=2200	副	1	94	
13	跌开式熔断器支架(一)		副	1	49	
14	避雷器横担	L 70×7 l=2200	根	1	92	
15	低压终端横担(一)	L 63×6 l=1500	副	1	80	
16	低压出线架		副	1	119	
17	镀锌铁丝	φ4.0	m	12		将变压器系于电杆
18	带电拆卸线夹	YZ-1	个	3		
19	铜铝接线端子	DTL-□	个	7	5	
20	并沟线夹	JB-□	个	7	5	
21	飞保险	500V	个	3		
22	卡盘	KP8	个	1	127	
23	底盘	DP8	个	1	128	
24	电杆	φ170或φ190 9m	根	1		
25	接地装置		处	1	41	

图 ZY5-25 GT15 型变压器台安装图



2-2



设备材料表

编号	名称	型号及规格	单位	数量	页	备注
1	电力变压器	SL7-□/10	台	1		
2	跌开式熔断器	RW10-10F/□	个	3	46 121	
3	高压避雷器	FS□-10(6)	个	3	43	方式一
4	低压配电箱	WEX(T)-□	个	1	122 123	
5	高压引下线	BLV-500-16	m	33		
6	低压引出线		m	50	121	
7	中性线		m	16	121	
8	高压斜式绝缘子	P-15T(P-10T)	个	18		
9	低压磷式绝缘子	ED-1	个	12		
10	杆顶支座抱箍		副	1	45	
11	高压引下线装置		副	1	59	
12	跌开式熔断器支架(二)		副	1	50	
13	避雷器及母线支架	L 63×6, l=1300 右侧	根	1	53	
14	低压终端横担(一)	L 63×6 l=1500	根	3	80	
15	水平拉紧装置		副	1	120	
16	变压器台架(二)		副	1	111	
17	配电箱固定支架		副	1	39	
18	穿线钢管	工程决定	m	21	121	
19	防水管头	工程决定	个	4		
20	钢管固定件		个	9	117	
21	镀锌铁线	φ4.0	m	20		将变压器系于电杆
22	接线端子	工程决定	个	7	5 121	
23	井沟线夹	JB-□	个	21	5	
24	卡盘	KP8	个	2	127	
25	底座	DP8	个	2	128	
26	电杆	φ170或φ190 11m	根	1		
27	电杆	φ170或φ190 9m	根	1		
28	接地装置		处	1	41	

图集号 86D265
页 33

GT27型变压器台安装图

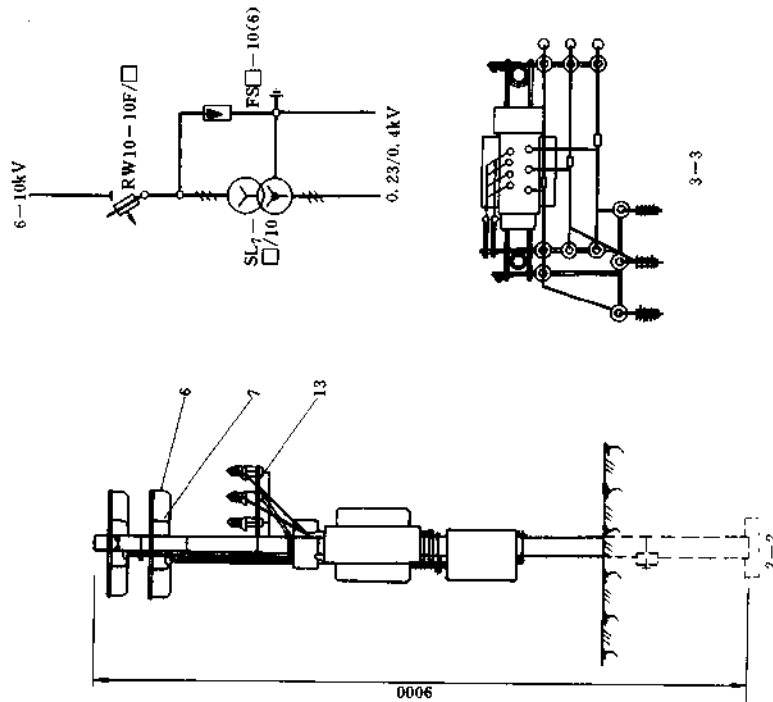
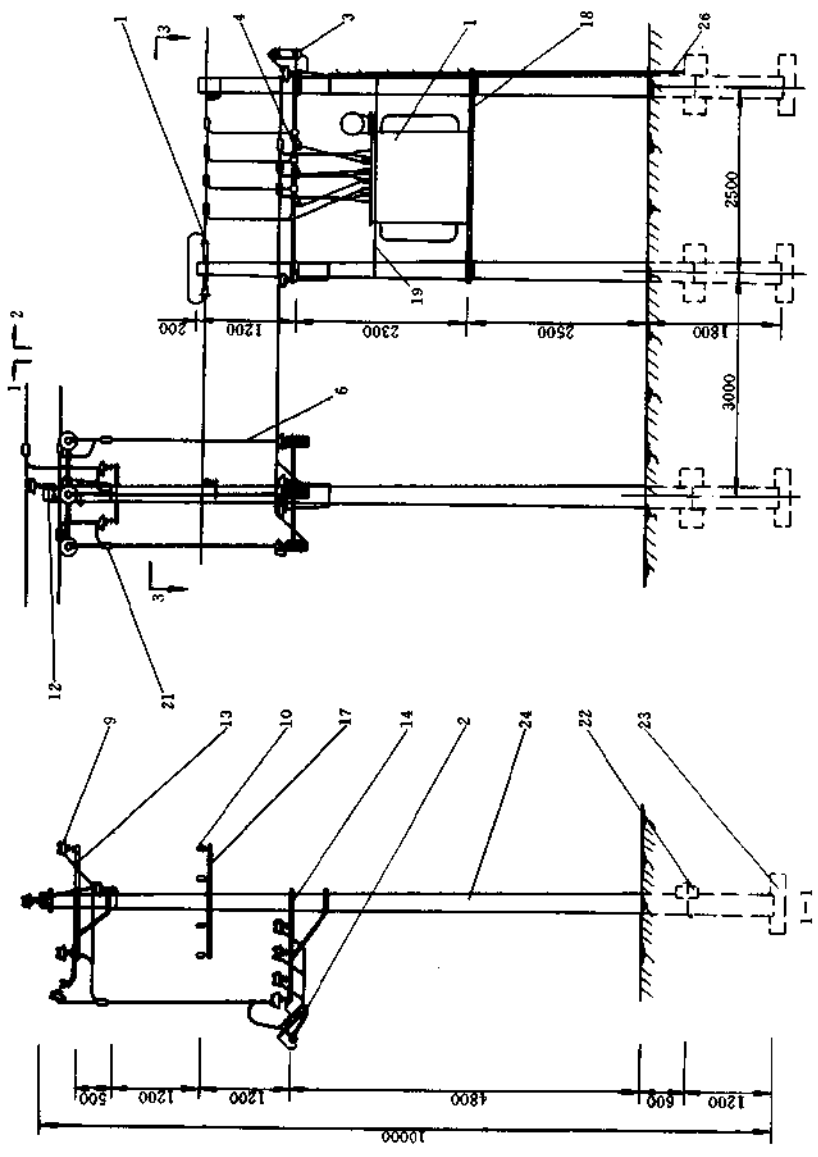


图 ZY5-26 GT27型变压器台安装图

附注:括弧内规格用于6千伏系统。



46R

供
电
技
术
专
业
知
识

设备材料表

编号	名称	型号及规格	单位	数量	页	备注
1	电力变压器	SL7-□/10	台	1		
2	跌落式熔断器	RW10-10F/□	个	3	46 121	
3	高压避雷器	FS□-10(6)	个	3	43	方式一
4	低压刀熔开关	HRW0-400~600/1	个	3	73	
5	低压避雷器	FS2-0.5	个	3	42	
6	高压引下线	BLV-500-16	m	40		
7	低压引下线	BLV-500-□	m	20	121	
8	中性线	BLV-500-□	m	7	121	
9	高压针式绝缘子	P-15T(P-10T)	个	21		
10	低压针式绝缘子	PD-1T	个	12		
11	低压蝶式绝缘子	ED-1	个	8		
12	杆顶支座抱箍		副	1	45	
13	高压引下线架		副	1	59	
14	跌落式熔断器支架(二)		副	1	50	
15	避雷器及刀熔开关支架		副	1	52	
16	低压终端横担(二)	L 63×6 l=1500	副	1	81	
17	低压直线横担(一)	L 63×6 l=1500	根	2	76	
18	变压器台架(二)		副	1	111	
19	镀锌铁线	φ4.0	m	20		将变压器系于电杆
20	铜铝接线端子	DTL-□	个	7	5	
21	并沟线夹	JB-□	个	13	5	
22	卡盘	KP8	个	3	127	
23	底座	DP8	个	3	128	
24	电杆	φ170 或 φ190 10m	根	1		
25	电杆	φ170 或 φ190 8m	根	2		
26	接地装置		处	1	41	

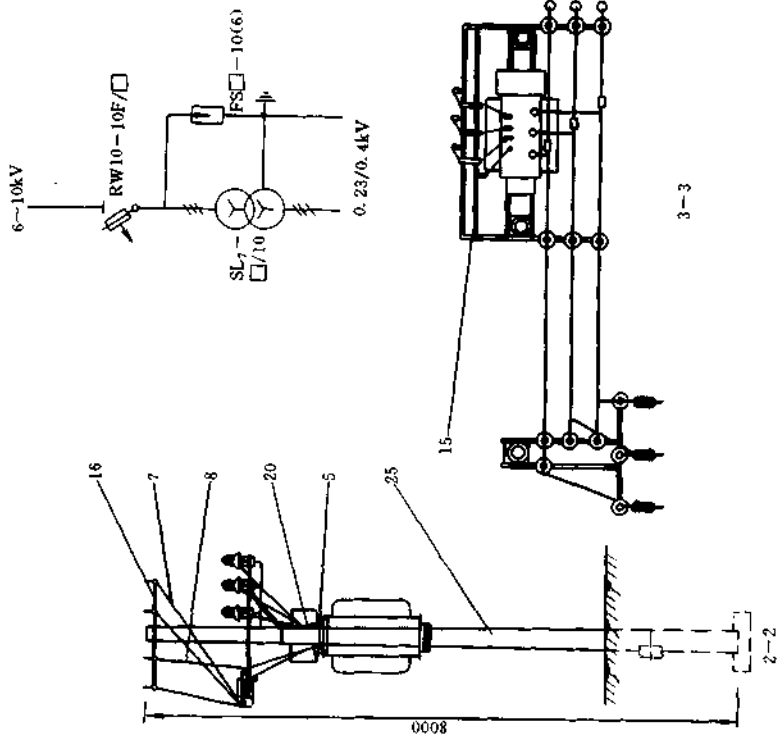
GT31型变压器台安装图

图集号

86D265

页

35



附注:

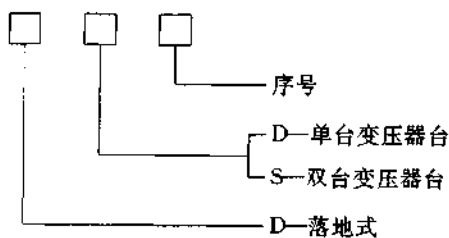
1. 括弧内规格用于6kV系统。
2. 当低压出线垂直于高压线时,取消16、17,改用81页低压终端横担(三),绝缘子数做相应修改。

图 ZY5-27 GT31型变压器台安装图

跌落式熔断器采用能带负荷切合的RW10-10(F)/□-6.3型,如用RW3-10(G)、RW4-10(G)或RW7-10型时,变压器容量应限在630kV·A及以下,且不能带负荷操作。③断路器采用LW1-10/400-6.3 I、II型SF6杆上断路器,工程设计中应根据需要就电流互感器变比向制造厂提出要求。④隔离开关用GW4-15G/200型。⑤电杆采用φ170或φ190环形钢筋混凝土电杆或环形预应力钢筋混凝土电杆。⑥针式绝缘子,6kV电压采用P-10T型,10kV电压采用P-15T型。⑦耐张绝缘子串,采用两片悬式绝缘子,有两种组合方案供选择。⑧高压熔断器、母线及联接材料按表ZY5-24选择

本图集规定的使用条件:①环境条件按一般环境设计,未考虑海拔与地区的特殊问题。②使用SL7、S9型普通变压器,不应安装在有腐蚀性气体场所或有火灾危险和耐火等级为四级的建筑物旁。在粉尘较多的环境,只能使用MB1、MB2型布置方案;BS9(BS7)-□/□全密闭型或BS9-□/□-WB防污秽的特殊型全密闭变压器。③架空线路的终端杆要尽量靠近变压器台,围栏内电杆不能作为线路终端杆使用,杆上每根导线允许拉力在坚硬粘土时不应超过680N,在较差的可塑粘土时不应超过320N,双杆以上可以加倍。④围栏内,变压器台周围地坪,用混凝土抹平,并留排水坡度,1000kV·A及以上容量的变压器有挡油设施,并留集水坑,便于雨后人工排水。⑤变压器基础高度,是按规范要求高压套管带电部分对地高度不低于2.7m考虑的,由于各厂产品高度不统一,应根据产品实际尺寸适当调整。⑥跌落式熔断器是按工作人员在围墙外操作考虑的。⑦在多雷地区应在变压器低压侧装设阀型避雷器。

本图集关于变压器台型式代号的含义如下:



注:MB□型表示“密闭式”。

限于篇幅,仅选三种型式的落地式变压器台的安装图,如图ZY5-28~30所示,供参考。

表ZY5-24 户外落地式变压器台选用的高压熔断器、母线及联接材料(据86D266)

序号	变压器容量 /kV·A	变压器额定电流 /A			高压熔断器额定电流/A		母线(LMY)尺寸/mm		铜铝过渡板(MG)尺寸/mm		固线金具(MWP) 相线
		一次电压		二次电压	熔管/熔体		相线	中性线	相线	中性线	
		6kV	10kV	400V	6kV	10kV					
1	400	38.5	23.1	577.4	100/75	100/50	63×6.3	40×5	63×6.3	63×6.3	101
2	500	48.1	28.9	721.6	100/100	100/50	63×6.3	40×5	63×6.3	40×5	101
3	630	60.6	36.4	909.6	200/100	100/75	80×6.3	50×6.3	80×6.3	50×6.3	102
4	800	77	46.2	1155	200/150	200/100	80×8	63×6.3	80×8	63×6.3	102
5	1000	96.2	57.7	1443	—	—	100×10	63×8	100×10	63×8	103
6	1250	120.3	72.2	1804	—	—	125×10	80×8	125×10	80×8	104

注:本表采用的高压熔断器为RW10-10(F)型;如改用RW3、RW4或RW7型时,变压器容量限在630kV·A及以下。

附注:

1. 变压器基础尺寸 H 见 86D266 第 100 页。
2. 括号内的尺寸用于容量为 630kV·A 及以下的变压器。

设备材料表

编号	名称	规格	单位	数量	页	备注
1	电力变压器	SL7-800~1250/10	台	1		
2	电缆终端头	6~10kV	个	1	80	括号内用于 6kV 电压
3	电缆	由工程决定				
4	电缆头安装支架(二)		副	1	83	
5	电缆保护管	Dg80 l=1500	根	1		
6	电缆固定件	墙上固定用	副	1	86	
7	高压母线	-40×4	m	5		接头表面 挂锡
8	低压相母线	LMY-□	m	9	5	
9	低压中性母线	LMY-□	m	3	5	
10	穿墙隔板(一)		副	1	90	
11	低压母线支架(一)		副	1	88	
12	支柱绝缘子	ZAP-6	个	3		
13	母线固定金具	MWP-□	副	3	5	
14	端子箱	工程决定	个	1	95	只用于 800kV·A 及以上
15	控制电缆	工程决定	套	1		只用于 800kV·A 及以上;
16	钢铝过覆板	MG-□	个	4	5	
17	接地装置		处	1	97	

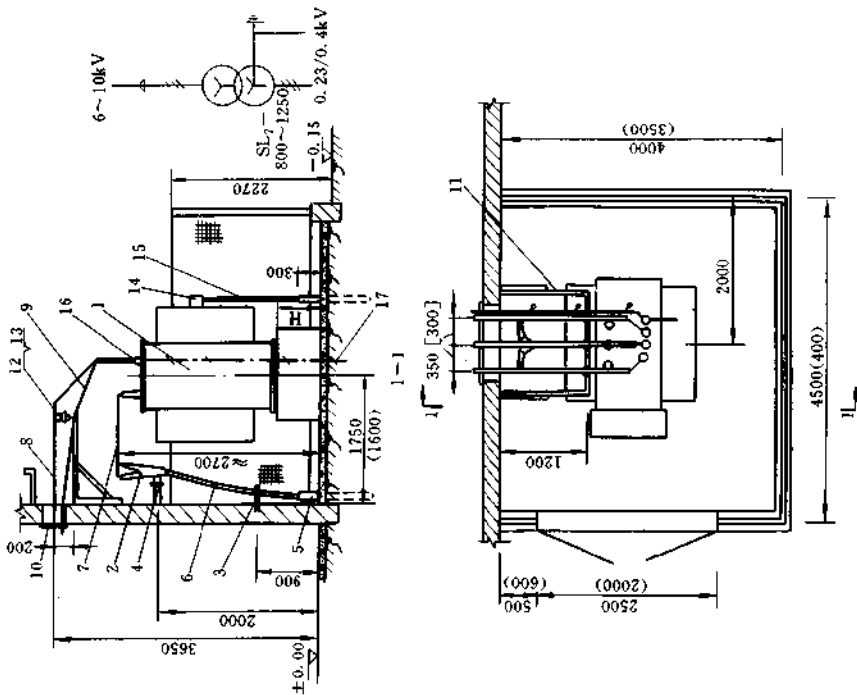


图 ZY5-28 DD1 型落地式变压器台布置图

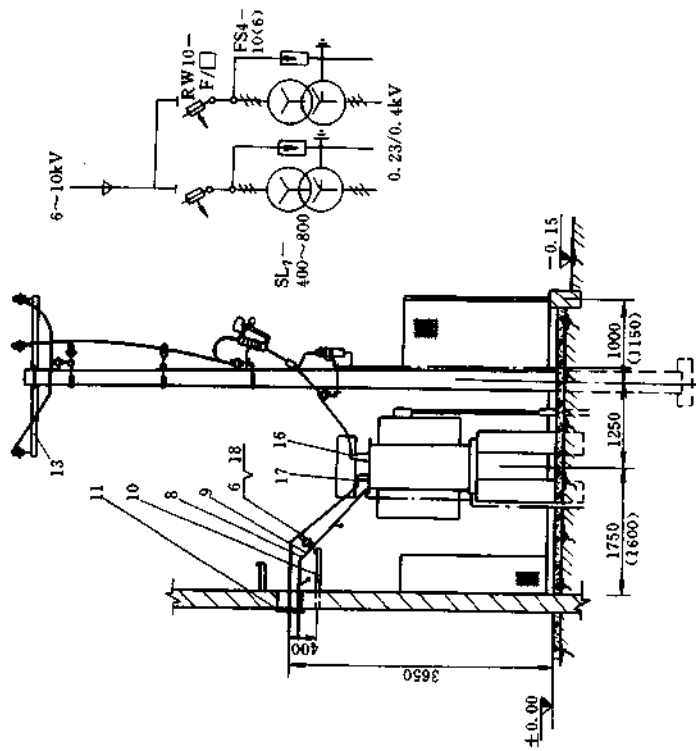
图集号 86D266

页 14

设备材料表

编号	名称	规格	单位	数量	页	备注
1	电力变压器	SL7-400~800/10	台	2		
2	避雷器	FS4-10(6)	个	6	77	括号内用于 6kV 电压
3	跌落式熔断器	RW10-10F/□	个	3	76	
4	电缆及其附件	工程决定	组	1	79	
5	杆式绝缘子	PT-15(10)T	个	31		括号内用于 6kV 电压
6	支柱绝缘子	ZPA-6	个	6		
7	高压引线	LJ-35	m	40		
8	低压母线	LMY-□	m	18	5	
9	中性母线	LMY-□	m	6	5	
10	低压母线支架(二)		副	2	89	
11	穿墙隔板(一)		副	2	90	
12	双横担(三)	2L 63×6 l=2200	副	2	70	
13	单横担(二)	L 63×6 l=2200	副	4	63	
14	单横担(一)	L 63×6 l=2200	副	4	62	
15	并沟线夹		副	6		
16	铜铝接线端子	DTL-35	个	18		
17	铜铝过渡板	SG-□	个	8	5	
18	母线固定金具	MWFP-□	副	6	5	
19	端子箱	工程决定	个	2	95	只用于 800kV·A
20	控制电缆	工程决定	根	2		只用于 800kV·A
21	电杆	φ170~190 9m	根	2		
22	底盘	DP6	个	2	106	
23	接地装置		处	1	97	

DS1 型变压器台布置图



附注:

1. 基础高 H 见 86D266 第 100 页。
2. 括号内的尺寸用于容量为 630kV·A 及以下的变压器。

图 ZY5-29 DS1 型落地式变压器台布置图

(六) 供配电线路的结构和敷设

1. 架空线路的结构 如表 ZY5-25 所示。

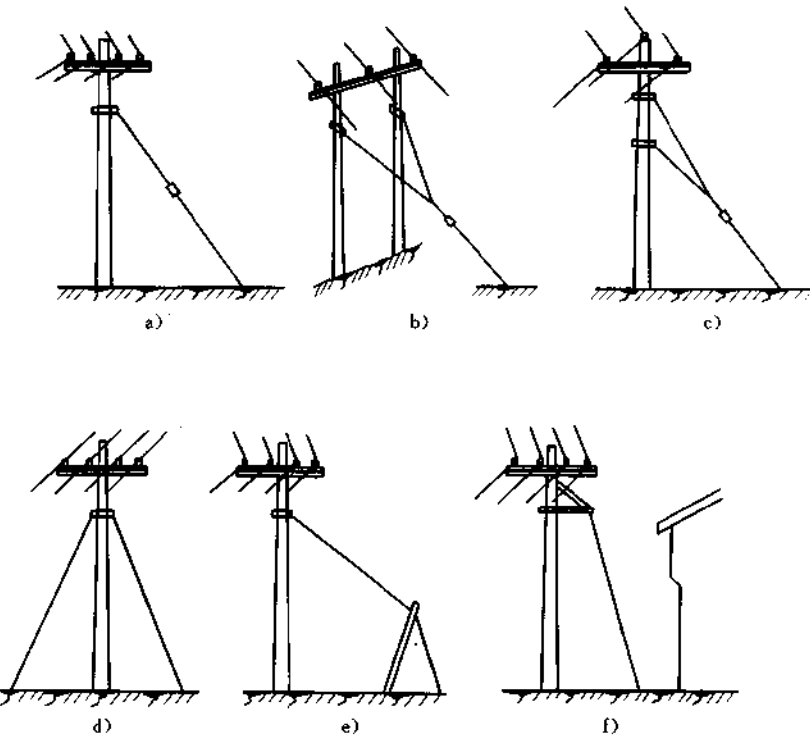
表 ZY5-25 架空线路的结构

序号	项 目	说 明	
1	架空线路电杆 (图 a 低压杆, 图 b 高压杆) 的结构	<p>1—低压导线 2—针式绝缘子 3—横担 4—低压电杆 5—横担 6—悬式绝缘子串 7—线夹 8—高压导线 9—高压电杆 10—避雷线</p>	
2	架空线路的档距、弧垂及对地距离		
3	架空线路的导线	功能	用来传导电流 (载流)
要求		有良好的导电性、机械强度及抗腐蚀性, 尽量质轻	
类别		钢绞线	导电性和机械强度好, 但价格昂贵
		铝绞线	导电性也较好, 且质轻价廉, 应优先选用
		铜绞线	导电性较差, 但机械强度好, 主要用作避雷线
	钢芯铝绞线	导电性和机械强度均较好, 在高压线路中应用广泛	

(续)

序号	项 目	说 明		
4	架空线路的电杆	功能	用来架设导线	
		要求	有足够的机械强度, 经久耐用, 且便于搬运和安装	
		类别	木杆	便于加工和搬运, 但易腐朽, 且木材为重要建材, 应尽量不用
			钢筋混凝土杆(水泥杆)	经久耐用, 不易腐蚀, 维护简单, 为节约木材和钢材, 宜大力推广应用
铁塔	经久耐用, 但需定期涂漆防锈, 维护费高, 且耗用大量钢材, 只宜110kV以上线路应用			
5	架空线路的横担	功能	用来安装绝缘子以架设导线, 并使不同相的导线之间保持一定的间距	
		要求	有足够的机械强度, 且便于安装	
		类别	木横担	加工容易, 具有较好的绝缘性能, 但易腐朽, 现少用
			铁横担	具有很好的机械强度, 但需定期涂漆防锈, 现应用较广
瓷横担	具有良好的绝缘性能, 兼有横担和绝缘子的作用, 在6~10kV线路中应用广泛			
6	架空线路的拉线	功能	用来平衡电杆各方面的作用力, 以防电杆倒塌。终端杆、转角杆等往往均装有拉线	
		要求	有足够的机械强度, 并要求确实拉紧。为防止线路对拉线的感应电压特别是防止线路故障时使拉线带上电压而造成触电的危险, 在拉线中应装上拉线绝缘子, 如图所示	
		结构	<p>1—电杆 2—拉线抱箍 3—上把 4—拉线绝缘子 5—腰把 6—花篮螺丝(拉紧用) 7—底把 8—拉线底盘</p>	

(续)

序号	项 目	说 明						
6	架空线路的拉线 类别	<p>按其用途和结构的不同,分为普通拉线(图 a)、Y型水平拉线(图 b)、Y型垂直拉线(图 c)、人字拉线(图 d)、高桩拉线(图 e)和自身拉线(图 f)</p> 						
7	架空线路的绝缘子	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="448 1458 539 1507">功能</td> <td data-bbox="539 1458 1380 1507">用来将导线固定在电杆上,并使导线与电杆绝缘</td> </tr> <tr> <td data-bbox="448 1507 539 1556">要求</td> <td data-bbox="539 1507 1380 1556">具有与线路电压相适应的电气绝缘强度,且具有足够的机械强度</td> </tr> <tr> <td data-bbox="448 1556 539 1653">类别</td> <td data-bbox="539 1556 1380 1653">按电压分,有低压绝缘子和高压绝缘子。按用途分,有电器绝缘子、装置绝缘子和线路绝缘子等。线路绝缘子有针式绝缘子、蝴蝶式绝缘子、悬式绝缘子及瓷横担等等</td> </tr> </table>	功能	用来将导线固定在电杆上,并使导线与电杆绝缘	要求	具有与线路电压相适应的电气绝缘强度,且具有足够的机械强度	类别	按电压分,有低压绝缘子和高压绝缘子。按用途分,有电器绝缘子、装置绝缘子和线路绝缘子等。线路绝缘子有针式绝缘子、蝴蝶式绝缘子、悬式绝缘子及瓷横担等等
功能	用来将导线固定在电杆上,并使导线与电杆绝缘							
要求	具有与线路电压相适应的电气绝缘强度,且具有足够的机械强度							
类别	按电压分,有低压绝缘子和高压绝缘子。按用途分,有电器绝缘子、装置绝缘子和线路绝缘子等。线路绝缘子有针式绝缘子、蝴蝶式绝缘子、悬式绝缘子及瓷横担等等							
8	架空线路的金具	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="448 1666 539 1715">功能</td> <td data-bbox="539 1666 1380 1715">用来连接导线、安装横担、拉线及绝缘子等的金属附件</td> </tr> <tr> <td data-bbox="448 1715 539 1765">要求</td> <td data-bbox="539 1715 1380 1765">具有一定的机械强度,符合安装的技术要求</td> </tr> <tr> <td data-bbox="448 1765 539 1915">类别</td> <td data-bbox="539 1765 1380 1915">有安装针式绝缘子的直脚(图 a)和弯脚(图 b)、安装蝴蝶式绝缘子的穿芯螺栓(图 c)、将横担固定在电杆上的 U 形抱箍(图 d)、调节拉线松紧的花篮螺丝(图 e)以及悬式绝缘子上的挂环(图 f 中 1)、线夹(图 f 中 4)等</td> </tr> </table>	功能	用来连接导线、安装横担、拉线及绝缘子等的金属附件	要求	具有一定的机械强度,符合安装的技术要求	类别	有安装针式绝缘子的直脚(图 a)和弯脚(图 b)、安装蝴蝶式绝缘子的穿芯螺栓(图 c)、将横担固定在电杆上的 U 形抱箍(图 d)、调节拉线松紧的花篮螺丝(图 e)以及悬式绝缘子上的挂环(图 f 中 1)、线夹(图 f 中 4)等
功能	用来连接导线、安装横担、拉线及绝缘子等的金属附件							
要求	具有一定的机械强度,符合安装的技术要求							
类别	有安装针式绝缘子的直脚(图 a)和弯脚(图 b)、安装蝴蝶式绝缘子的穿芯螺栓(图 c)、将横担固定在电杆上的 U 形抱箍(图 d)、调节拉线松紧的花篮螺丝(图 e)以及悬式绝缘子上的挂环(图 f 中 1)、线夹(图 f 中 4)等							

(续)

序号	项 目	说 明
8	架空线路的金具 结构	<p>a) 直脚及针式绝缘子 b) 弯脚及针式绝缘子 c) 穿芯螺栓 d) U形抱箍 e) 花篮螺丝 f) 悬式绝缘子串及金具 1—球头挂环 2—绝缘子 3—碗头挂板 4—悬垂线夹 5—导线</p>
9	避雷线	<p>功能 用来保护架空线路免遭雷击，一般用于35kV及以上的架空线路</p> <p>要求 具有一定的导电性能，具有足够的机械强度。通常采用截面不小于25mm²的钢绞线</p>

2. 架空线路的敷设要求 应遵循有关国家标准、规范的要求，按架空电力线路的设计施工图纸进行。架空线路敷设的一般要求，如表 ZY5-26 所示。关于架空线路导线截面及与有关设施距离的要求，如表 ZY5-27 所示。

表 ZY5-26 架空线路敷设的一般要求

序号	项 目	说 明
1	遵循有关规程	为保证架空线路的施工质量，确保线路安全运行，在施工和竣工验收中必须遵循有关规程的规定，其中重要的规程有 GB50173—92《电气装置安装工程·35kV 及以下架空电力线路施工及验收规范》
2	合理选择路径	①路径要短，转角要少；②交通运输方便，便于施工架设和维护；③尽量避开河洼和雨水冲刷地带及易撞、易燃、易爆等危险场所；④不应引起机耕、交通和人行困难；⑤尽量沿道路平行架设；⑥应与建筑物保持一定的安全距离；⑦应与工厂和城镇的规划协调配合，并适当考虑今后的发展
3	保证安全距离	应按有关规程要求，保证架空线路与地及其它设施的安全距离，其中主要的要求如表 ZY5-27 所示（该表数据主要依据文献 [4]）

表 ZY5-27 架空线路导线截面及与有关设施距离的要求

序号	项 目	类 别		线 路 电 压		
				3kV 以下	3~10kV	35kV
1	架空线路导线最小截面/mm ²	铝绞线及铝 合金线	居民区	16	35	35
			非居民区		25	
		钢芯铝绞线	居民区	16	25	35
			非居民区		16	
		钢线	居民区	10	16	—
			非居民区			
2	架空线路导线与地面最小距离/ m	居民区		6.0	6.5	7.0
		非居民区		5.0	5.5	6.0
		交通困难地区		4.0	4.5	5.0
3	架空线路导线与建筑物间的最小 距离/m (注:架空线路不应跨越屋顶为 易燃材料的建筑物,对其它建筑物 也应尽量不跨越)	导线跨越建筑物的最小垂直 距离(最大计算弧垂)		2.5	3.0	4.0
		边导线与建筑物的最小水平 距离(最大计算风偏)		1.0	1.5	3.0
4	架空线路导线与街道绿化树间的 最小距离/m	最小垂直距离(最大计算弧 垂)		1.0	1.5	3.0
		最小水平距离(最大计算风 偏)		1.0	2.0	3.5
5	架空线路导线与公路和道路的最 小垂直距离/m	至路面		6.0	7.0	7.0
6	架空线路导线与电车道的最小垂 直距离/m	至路面		9.0	9.0	10.0
		至承力索或接触线		3.0	3.0	3.0
7	架空线路导线与铁路的最小垂直 距离/m	至标准轨顶		7.5	7.5	7.5
		至窄轨顶		6.0	6.0	7.5
		至承力索或接触线		—	3.0	3.0
8	架空线路导线与通航河道的最小 垂直距离/m	至常年高水位		6.0	6.0	6.0
		至最高航行水位的最高船桅 顶		1.0	1.5	2.0
9	架空线路与其它架空电力线路或 弱电线路的最小垂直距离/m	至被跨越线路的顶线		1.0	2.0	3.0

(续)

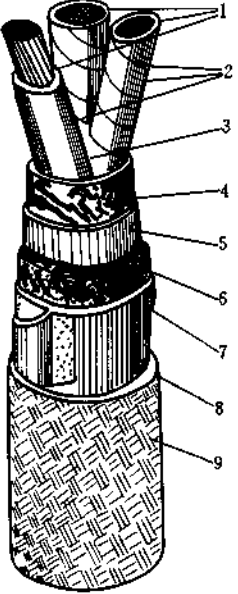
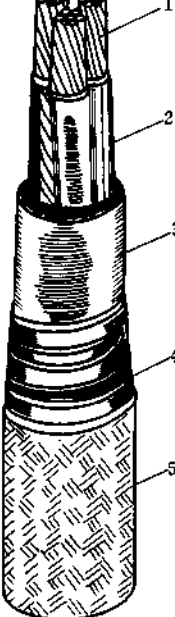
序号	项 目	类 别		线 路 电 压				
				3kV 以下	3~10kV	35kV		
10	架空线路与其它架空电力线路边导线间的最小水平距离/m	开阔地区		最高杆塔高度				
		路径受限制地区		2.5	2.5	5.0		
11	架空线路与架空弱电线路边导线间的最小水平距离/m	开阔地区		最高杆塔高度				
		路径受限制地区		1.0	2.0	4.0		
12	架空线路导线与管道的最小垂直距离/m	至特殊管道		1.5	3.0	4.0		
		至一般管道索道		1.5	2.0	3.0		
13	架空线路导线与管道的最小水平距离/m	开阔地区		最高杆塔高度				
		路径受限制地区		1.5	2.0	4.0		
14	接户线最小截面/mm ²	铝芯绝缘线	档距 /m	<10	自电杆引下	6.0°	—	—
				10~25		10.0°		
			<6	沿墙敷设	6.0°			
		铜芯绝缘线	档距 /m	<10	自电杆引下	4.0°	—	—
				10~25		6.0°		
			<6	沿墙敷设	4.0°			
		铝绞线				—	25	—
钢绞线				—	16	—		
备 注		①对接户线, 表头中“3kV 以下”应改为“1kV 以下” ②1kV 以下接户线档距不宜大于 25m, 必要时宜增设接户杆 ③标 * 号的截面数据按 JGJ/T16—92《民用建筑电气设计规范》改						
15	接户线对地最小垂直距离/m	至地面		2.5	4.5	—		
16	跨越街道和道路的低压接户线至路面中心的最小垂直距离/m	接户线经过地区	通车街道	6.0	—	—		
			通车困难的小街及人行道	3.5				
			胡同	3.0				

3. 电缆线路的结构 如表 ZY5-28 所示。

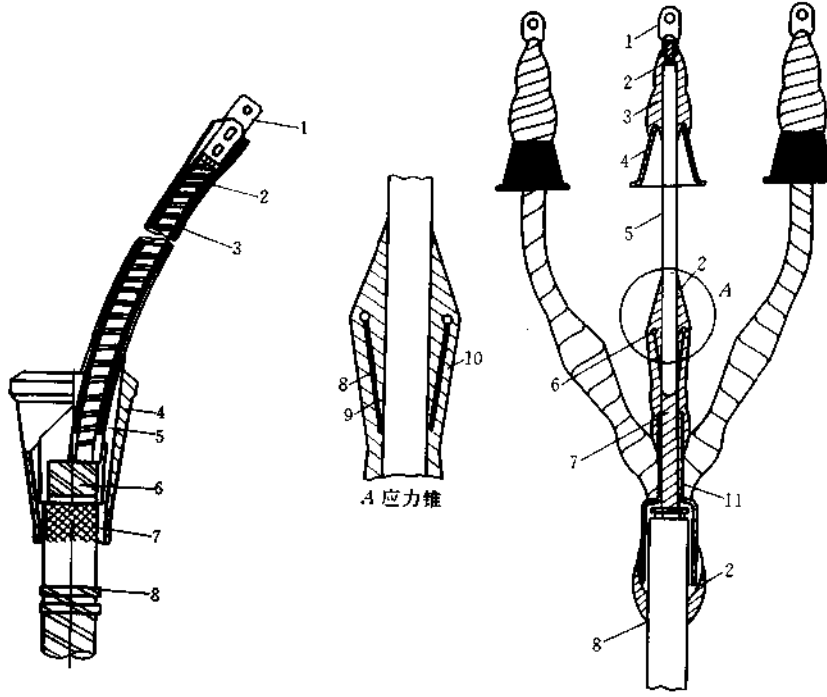
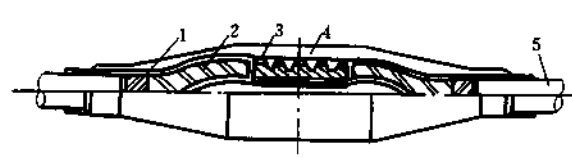
4. 电缆线路的敷设要求 敷设电缆线路应遵循有关的国家标准如 GB50217—94《电力工程电缆设计规范》和 GB50168—92《电气装置安装工程·电缆线路施工及验收规范》等的要求，按电缆线路的设计施工图纸进行。电缆线路敷设的方式及一般要求，如表 ZY5-29 所示。关于电缆线路中电缆各支持点间的最大距离，如表 ZY5-30 所示。电缆的最小弯曲半径，如表 ZY5-31 所示。直埋电缆之间及与其它设施的距离，如表 ZY5-32 所示。室内和电缆沟或隧道内电缆敷设的要求，如表 ZY5-33 所示。

5. 低压配电线路的结构和敷设 如表 ZY5-34 所示。

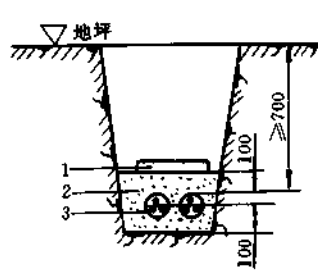
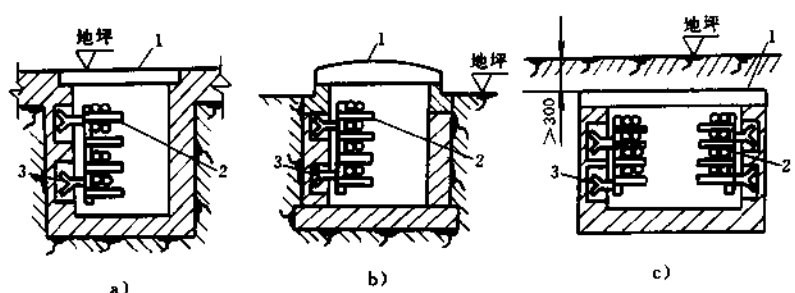
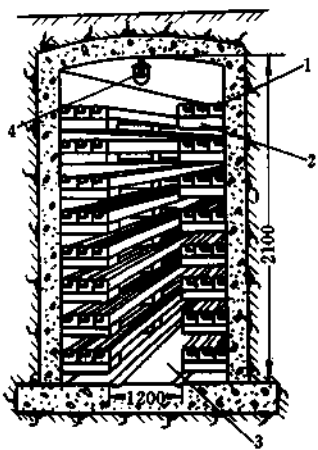
表 ZY5-28 电缆线路的结构

序号	项 目	说 明
1	电缆的结构	<p>按绝缘介质分，有油浸纸绝缘电缆和塑料电缆两大类。塑料电缆又分聚氯乙烯绝缘电缆和交联聚乙烯绝缘电缆两种</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>a) 油浸纸绝缘电力电缆</p> <p>1—铝芯（或铜芯） 2—油浸纸绝缘层 3—麻筋（填料） 4—油浸纸绝缘 5—铅包 6—涂沥青的纸带（内护层） 7—浸沥青的麻被（内护层） 8—钢铠（外护层） 9—麻被（外护层）</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>b) 交联聚乙烯绝缘电力电缆</p> <p>1—铝芯（或铜芯） 2—交联聚乙烯绝缘层 3—聚氯乙烯护套（内护层） 4—钢铠（外护层） 5—聚氯乙烯外壳（外护层）</p> </div> </div>

(续)

序号	项 目	说 明
2	电缆终端头的结构	<p>电缆终端头按使用的绝缘材料(或充填材料)分,有充填电缆胶的、环氧树脂浇注的、绕包式的和热缩材料封端的等。由于热缩材料封端具有施工简便、价廉和性能良好等优点,因此在工程中得到了广泛的应用</p>  <p>a) 油浸纸绝缘电缆室内环氧树脂终端头 1—引线鼻子 2—线芯绝缘 3—电缆线芯(外包绝缘层) 4—预制环氧外壳 5—环氧混合胶(现场浇注) 6—统包绝缘 7—铅包 8—接地线卡子</p> <p>b) 交联聚乙烯电缆绕包式室外终端头 1—接线端子 2—自粘性橡胶带 3—两层半搭接塑料胶粘带 4—防雨罩(室外用) 5—电缆线芯绝缘 6—软铅丝屏蔽环 7—电缆屏蔽层 8—接地铜线 9—铝屏蔽带 10—半导电布带 11—三芯分叉手套</p>
3	电缆中间头的结构	<p>电缆中间头也有很多种。现在也广泛应用、热缩材料来制作</p>  <p>1~10kV 电缆环氧树脂中间头 1—统包绝缘层 2—线芯绝缘 3—扎锁管(管内两线芯对接) 4—扎锁管涂包层 5—铅包</p>

(续)

序号	项 目	说 明
4	直埋电缆的结构	 <p style="text-align: center;">壕沟中的直埋电缆</p> <p style="text-align: center;">1—保护板 2—砂 3—电缆</p>
5	电缆沟的结构	 <p style="text-align: center;">a) 室内电缆沟 b) 室外电缆沟 c) 厂区电缆沟</p> <p style="text-align: center;">1—盖板 2—电缆支架 3—预埋铁件</p>
6	电缆隧道的结构	 <p style="text-align: center;">1—电缆 2—支架 3—维护走廊 4—照明灯具</p>

(续)

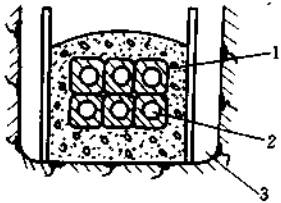
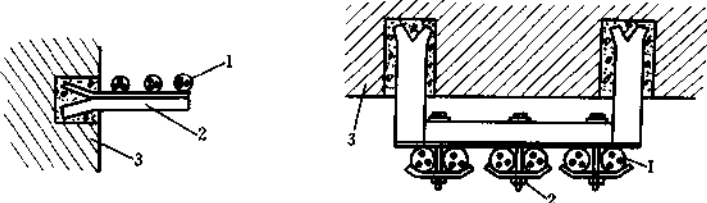
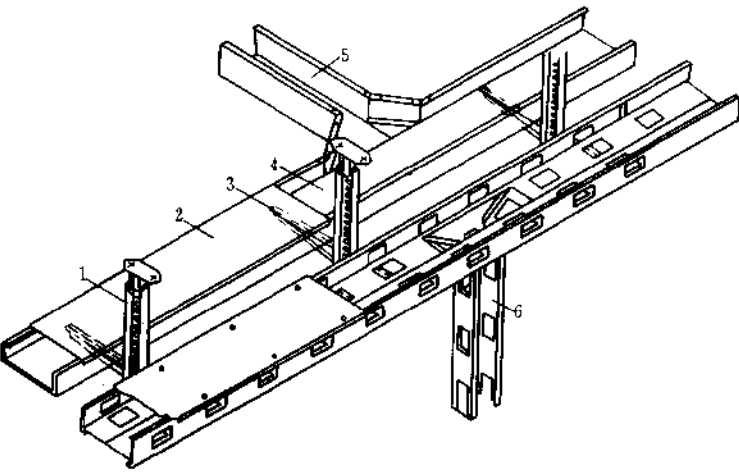
序号	项 目	说 明
7	电缆排管的 结构	 <p>1—水泥排管 2—电缆孔(穿电缆) 3—电缆沟</p>
8	沿墙和沿 天花板的 电缆支架 结构	 <p>a) 沿墙敷设 b) 沿天花板敷设 1—电缆 2—角铁支架 3—墙或天花板</p>
9	电缆桥架 的结构	 <p>1—支架 2—盖板 3—支臂 4—线槽(内置电缆) 5—水平分支线槽 6—垂直分支线槽</p>

表 ZY5-29 电缆线路敷设的方式及一般要求

序号	项 目	说 明
1	电缆的敷设方式	①直接埋地敷设(参看表 ZY5-28 序号 4); ②电缆沟敷设(参看表 ZY5-28 序号 5); ③电缆隧道敷设(参看表 ZY5-28 序号 6); ④电缆排管敷设(参看表 ZY5-28 序号 7); ⑤电缆沿墙支架敷设(参看表 ZY5-28 序号 8); ⑥电缆桥架敷设(参看表 ZY5-28 序号 9); ⑦电缆水底敷设

(续)

序号	项 目	说 明
2	电缆敷设的一般要求	<p>①在电缆线路的施工和竣工验收中应遵循有关规程的规定，其中重要的规程有 GB50217—94《电力工程电缆设计规范》和 GB50168—92《电气装置安装工程·电缆线路施工及验收规范》。</p> <p>②合理选择电缆路径：a. 应使路径最短，尽量少拐弯；b. 使电缆尽量避开有可能遭受机械损伤或化学腐蚀危险的场所；c. 尽量避免与其它管道交叉；d. 直埋电缆要避开规划中要挖掘的地方。</p> <p>③电缆敷设前应检查电缆型号、规格是否符合设计，电缆外观应完好无损，绝缘良好。</p> <p>④电缆敷设时不应损坏电缆沟、隧道、电缆井和人井的防水层。</p> <p>⑤电缆在终端头和接头附近宜留有备用长度。</p> <p>⑥电缆各支持点间的距离、电缆的最小弯曲半径及直埋电缆与有关设施的距离，均应符合有关规程的规定（参看表 ZY5-30~32）。</p> <p>⑦电缆进入建筑物、隧道、穿过楼板及墙壁处，电缆从沟道中引至电杆、设备、墙外表面或屋内行人容易接近处、距地面高度 2m 以下的一段，以及其它可能受到机械损伤的地方的电缆，均应有一定机械强度的保护管或加装保护罩。</p> <p>⑧直埋电缆表面距地面不应小于 0.7m，穿越农田时不应小于 1m。</p> <p>⑨电缆的金属外皮、金属电缆头及保护钢管和金属支架等，均应可靠接地。</p>

表 ZY5-30 电缆各支持点间的最大距离 (据 GB50168—92) (m)

序号	电 缆 类 型	敷 设 方 式	
		水平	垂直
1	全塑型	0.4	1.0
	除全塑型外的中低压电缆	0.8	1.5
	35kV 及以上的高压电缆	1.5	2.0
2	控制电缆	0.8	1.0

注：全塑型电力电缆水平敷设沿支架能将电缆固定时，支持点间距离允许增大为 0.8m。

表 ZY5-31 电缆的最小弯曲半径 (据 GB50168—92)

序号	电 缆 类 型	多 芯	单 芯		
1	控制电缆	10D	—		
2	橡皮绝缘电力电缆	无铅包、钢铠护套	10D		
		裸铅包护套	15D		
		钢铠护套	20D		
3	聚氯乙烯绝缘电力电缆	10D			
4	交联聚乙烯绝缘电力电缆	15D	20D		
5	油浸纸绝缘电力电缆	铅包			
		铅包	有铠装	15D	20D
			无铠装	20D	—
6	自容式充油（铅包）电缆	—	20D		

注：表中 D 为电缆外径。

表 ZY5-32 直埋的电缆之间及电缆与管道、道路、
建筑物之间的最小净距 (据 GB50168—92) (m)

序号	项 目	平 行 时	交 叉 时
1	电力电缆间及其与控制电缆间	10kV 及以下	0.10
		10kV 以上	0.25
2	控制电缆间	—	0.50
3	不同使用部门的电缆间	0.50	0.50
4	热力管道 (管沟) 及热力设备	2.00	0.50
5	油管道 (管沟)	1.00	0.50
6	可燃气体及易燃液体管道 (管沟)	1.00	0.50
7	其它管道 (管沟)	0.50	0.50
8	铁路路轨	3.00	1.00
9	电气化铁路路轨	交流	3.00
		直流	10.0
10	公路	1.50	1.00
11	城市街道路面	1.00	0.70
12	杆基础 (边线)	1.00	—
13	建筑物基础 (边线)	0.60	—
14	排水沟	1.00	0.50

注: 1. 电缆与公路平行的净距, 当情况特殊时可酌减。

2. 当电缆穿管或者其它管道有保温层等防护设施时, 表中净距应从管壁或防护设施的外壁算起。

表 ZY5-33 室内和电缆沟或隧道内电缆敷设的要求 (据 GB50054—95)

序号	项 目	要 求	
1	无铠装的电缆在室内明敷时至地面的最小距离	水平敷设时	2.5m
		垂直敷设时	1.8m
		①不满足要求时, 应有防止机械损伤的措施 ②明敷在电气专用房间 (如配电室、电机室等) 内时除外	
2	相同电压的电缆并列明敷时电缆间的最小净距	①不应小于 35mm ②不应小于电缆外径 ③在桥架、托盘和线槽内敷设时除外	
3	架空明敷的电缆与管道的最小净距	与热力管道	1.0m
		与非热力管道	0.5m
		不能满足要求时, 应在与管道接近的电缆段上及由该段向两端延伸不小于 0.5m 以内的电缆段上, 采取防止机械损伤的措施	

五、供电系统的结线和结构(ZY5)

707

(续)

序号	项 目	要 求			
4	水平悬挂于钢索上的电缆固定点间的最大间距	电力电缆	0.75m		
		控制电缆	0.6m		
5	电缆穿管敷设时穿管内径与电缆外径之比	不应小于 1.5			
6	电缆桥架(梯架、托盘)水平敷设时距地最小高度	2.5m (架设在技术夹层内时除外)			
7	电缆在电缆桥架上敷设的间距及填充率(电缆总截面与桥架横断面面积之比)	电缆之间的间距		可无间距	
		电缆在桥架内横断面的填充率	电力电缆	不大于 40%	
控制电缆	不大于 50%				
8	电缆桥架内电缆的固定部位	垂直敷设时		①电缆的上端 ②每隔 1.5~2m 处	
		水平敷设时		①电缆的首端和末端 ②电缆转弯处 ③电缆其它部位每隔 5~10m 处	
9	室内电缆支架上电缆的固定部位	垂直敷设和水平敷设时		①电缆的首端和末端 ②电缆与每个支架的接触处	
10	电缆在电缆沟内和隧道内敷设时的最小净距		电 缆 沟		
			沟深 0.6m 及以下	沟深 0.6m 以上	
	通道宽度	两侧支架	0.3m	0.5m	电缆隧道 1.0m
		一侧支架	0.3m	0.45m		0.9m
支架层间垂直距离	电力电缆	0.15m	0.15m	0.2m	
	控制电缆	0.1m	0.1m	0.12m	
11	电缆沟内或隧道内电缆支架间或固定点间的最大间距		塑料护套、铅包、钢带铠装		
			电力电缆	控制电缆	
	水平敷设	1.0	0.8	3.0	
垂直敷设	1.5	1.0	6.0		
12	电缆沟和隧道的防火设施	①电缆沟进入建筑物处,设防火墙 ②电缆隧道进入建筑物处及变电所围墙处,设带门的防火墙			
13	电缆隧道内的最小净高	1.9m (局部或与管道交叉处可为 1.4m)			
14	电缆隧道的通风设施	一般采取自然通风			
15	电缆隧道出口	①隧道长度大于 7m 时,两端设出口(包括人孔井) ②两出口间距大于 75m 时,应增加出口 ③人孔井的直径不小于 0.7m			

表 ZY5-34 低压配电线路的结构和敷设 (据 GB50054—95 和 JGJ/T16—92)

序号	项 目		说 明				
1	绝缘导线布线						
1.1	直敷布线	适用范围	一般适用于正常环境的室内场所和挑檐下室外场所,但建筑物顶棚内,不得采用				
		采用导线	应采用护套绝缘导线,截面不宜大于 6mm ²				
		敷设要求	应采用线卡沿墙壁、顶棚或建筑物构件表面直接敷设,固定点间距不应大于 0.3m				
		导线至地面的最小距离	水平敷设时	室内	2.5m		
				室外	2.7m		
垂直敷设时	室内	1.8m					
	室外	2.7m					
垂直敷设至地面低于 1.8m 时,应穿管保护							
1.2	瓷(塑料)夹、鼓形绝缘子、针式绝缘子布线	适用范围	①瓷(塑料)夹布线一般适用于正常环境的室内场所和挑檐下的室外场所 ②鼓形绝缘子和针式绝缘子布线一般适用于室内、外场所 ③建筑物顶棚内,不得采用瓷(塑料)夹、鼓形绝缘子、针式绝缘子布线				
		室内沿墙、顶棚布线的导线固定点最大间距	布线方式	导线截面	固定点最大间距		
				瓷(塑料)夹布线	1~4mm ²	0.6m	
			鼓形绝缘子布线	6~10mm ²	0.8m		
				1~4mm ²	1.5m		
		室内、外布线的导线最小间距	绝缘子类型	固定点间距 l	导线最小间距		
					鼓形绝缘子	室内	室外
						$l \leq 1.5m$	50mm	100mm
					鼓形或针式绝缘子	1.5m < $l \leq 3m$	75mm	100mm
		针式绝缘子	3m < $l \leq 6m$	100mm		150mm	
针式绝缘子	6m < $l \leq 10m$	150mm	200mm				
	明敷在高温辐射或对绝缘有腐蚀的场所时导线间及导线至建筑表面最小净距	导线固定点间距		最小净距			
$l \leq 2m$		75mm					
$2m < l \leq 4m$		100mm					
$4m < l \leq 6m$		150mm					
$6m < l \leq 10m$		200mm					
注:在这类场所的绝缘导线间及导线至建筑表面最小净距,与裸导线布线要求相同							

(续)

序号	项 目		说 明				
			布线方式			最小净距	
1.2	瓷(塑料)夹、鼓形绝缘子、针式绝缘子布线	室外布线导线至建筑物的最小间距	水平敷设时的垂直间距	在阳台、平台上和跨越建筑物顶		2500mm	
				在窗户上		200mm	
				在窗户下		800mm	
			垂直敷设时至阳台、窗户的水平间距			600mm	
			导线至墙壁和构架的间距(挑檐下除外)			35mm	
	导线至地面的最小距离	水平敷设时	室内	2.5m			
			室外	2.7m			
	垂直敷设时	室内	1.8m				
		室外	2.7m				
1.3	金属管布线	适用范围	一般适用于无严重腐蚀的室内外场所;而在建筑物顶棚内必须采用				
		穿线管要求	①明敷于潮湿场所或埋地敷设的金属管布线,应采用水煤气钢管(焊接钢管或无缝钢管) ②明敷或暗敷于干燥场所的金属管布线,应采用管壁厚度不小于1.5mm的电线管				
		管内导线的填充率	①三根及以上绝缘导线穿于一根管时,其总截面积(包括外护层)不应超过管内截面积的40% ②两根绝缘导线穿于一根管时,管内径不应小于两根导线外径之和的1.35倍(立管可取1.25倍)				
		穿管回路要求	①穿金属管的交流线路,应将同一回路的所有相线和中性线穿于一根管内 ②不同回路的线路不应穿于一根金属管内,但下列情况可以除外:a.电压为50V及以下的回路;b.同一设备或同一联动系统设备的电力回路及无防干扰要求的控制回路;c.同一照明花灯的几个回路;d.同类照明的几个回路,但管内绝缘导线的根数不应多于8根				
		明敷时金属管的固定点最大间距	管内径/mm				
15~20	25~32		40~50	70~100			
固定点最大间距/m							
	钢管	1.5	2.0	2.5	3.5		
	电线管	1.0	1.5	2.0	—		

(续)

序号	项 目	说 明				
1.3	金属管布线	电线管与其它管道同敷的要求	①电线管应敷设在热水管、蒸汽管的下面。有困难时，可敷设在其上面，但净距不宜小于下列数值：a. 敷设在热水管下面时为0.2m，在其上面时为0.3m；b. 敷设在蒸汽管下面时为0.5m，在其上面时为1.0m。当不能符合上列要求时，应采取隔热措施。对有保温措施的蒸汽管，上下净距均可减至0.2m ②电线管与其它管道（不包括可燃气体及易燃、可燃液体管道）平行净距不应小于0.1m。当与水管同侧敷设时，宜敷设在水管的上面 ③当管路互交叉时，其距离不宜小于相应上列情况的平行净距			
		考虑拉线的要求	金属管布线的管路较长或有弯时，宜适当加装拉线盒，两个拉线点之间的距离应符合以下要求： ①对无弯的管路，不超过30m ②两拉线点间有一个弯时，不超过20m ③两拉线点间有两个弯时，不超过15m ④两拉线点间有三个弯时，不超过8m 如加装拉线盒有困难时，可适当加大管径			
		暗敷金属管路的要求	①暗敷于地下的管路不宜穿过设备基础 ②暗敷管路穿过建筑物基础时，应加保护管保护 ③暗敷管路穿过建筑物伸缩、沉降缝时，应采取保护措施 ④绝缘导线不宜穿金属管在室外直接埋地敷设，必要时对于次要用电负荷且线路较短（15m以下）的，可穿金属管埋地敷设，但应采取可靠的防水、防腐蚀措施			
1.4	塑料管布线	适用范围	一般适用于室内场所及有酸碱腐蚀性介质的场所，但在易受机械损伤的场所不宜采用明敷方式			
		穿线管要求	应采用难燃型材料，其氧指数应在27以上			
		敷设要求	①硬塑管暗敷或埋地敷设时，引出地（楼）面不低于0.5m的一段管路，应采取防止机械损伤的措施 ②采用硬塑管布线时，导线在管内的填充率要求与金属管布线（本表序号1.3）相同 ③不同回路的线路穿硬塑管的要求亦与金属管布线（本表序号1.3）相同 ④硬塑管布线的管路与热水管、蒸汽管同侧敷设时的要求，亦与金属管布线（本表序号1.3）相同 ⑤硬塑管布线，当管路较长或有弯时，考虑拉线的要求，亦与金属管布线（本表序号1.3）相同 ⑥硬塑管明敷时固定点的最大间距如下：			
			管内径/mm	20及以下	25~40	50及以上
最大间距/m	1.0		1.5	2.0		
1.5	金属线槽布线（明敷）	适用范围	一般适用于无严重腐蚀的正常室内场所明敷，具有槽盖的封闭式金属线槽，可在建筑物顶棚内敷设			

(续)

序号	项 目	说 明
1.5	金属线槽布线(明敷)	<p>敷设要求</p> <p>①导线或电缆在金属线槽内不宜有接头,但在易于检查的场所,可允许有分支接头,导线、电缆和分支接头的总截面(包括外护层)不应超过该点线槽内截面的75%</p> <p>②金属线槽布线,在线路连接、转角、分支及终端处应采用相应的附件</p> <p>③金属线槽垂直或倾斜敷设时,应采取措施防止导线、电缆在线槽内移动</p> <p>④金属线槽敷设时,吊点及支持点的距离,应根据工程具体条件确定,一般应在下列部位设置吊架或支架:a.直线段不大于3m或线槽接头处;b.线槽首端、终端及进出接线盒0.5m处;c.线槽转角处</p> <p>⑤金属线槽布线,不得在穿过楼板或墙壁等处进行连接</p> <p>⑥同一回路的所有相线和中性线,应敷设在同一金属线槽内</p> <p>⑦同一路径无防干扰要求的线路,可敷设于同一金属线槽内。线槽内导线或电缆的总截面(包括外护层)不应超过线槽内截面的20%,载流导线不宜超过30根。控制、信号或与其相类似的线路,导线或电缆的总截面不应超过线槽内截面的50%,导线或电缆根数不限</p>
1.6	地面内暗装金属线槽布线	<p>适用范围</p> <p>适用于正常环境下大空间且隔断变化多、用电设备移动性大或敷有多种功能线路的场所,暗敷于现浇混凝土地面、楼板或楼板垫层内</p>
		<p>敷设要求</p> <p>①地面内暗装金属线槽内,导线或电缆不得有接头,接头应在分线盒或线槽出线盒内进行</p> <p>②线槽在交叉、转弯或分支处应设置分线盒,线槽的直线长度超过6m时,宜加装分线盒</p> <p>③由配电箱和接线端子箱等设备引至线槽的线路,宜采用金属管布线方式引入分线盒,或以终端连接器直接引入线槽</p> <p>④线槽出线口和分线盒不得突出地面,且应做好防水密封处理</p> <p>⑤同一回路的所有导线应敷设在同一线槽内,同一路径无防干扰要求的线路也可敷设于同一线槽内。线槽内导线或电缆的总截面(包括外护层)不应超过线槽内截面的40%</p> <p>⑥强、弱电线路应分槽敷设,两种线路交叉处应设置有屏蔽分线板的分线盒</p> <p>⑦地面内暗装金属线槽布线,在设计时应与土建专业密切配合,以便根据不同的结构型式和建筑布局,合理确定线路路径和设备选型</p>
1.7	塑料线槽布线	<p>适用范围</p> <p>①一般适用于正常环境的室内场所。在高温和易受机械损伤的场所不宜采用</p> <p>②弱电线路可采用难燃型带盖塑料线槽在建筑顶棚内敷设</p>

电气工程手册

(续)

序号	项 目		说 明				
1.7	塑料线槽布线	敷设要求	①导线和电缆在线槽内不得有接头,分支接头应在接线盒内进行 ②塑料线槽敷设时,槽底固定点间距应根据线槽规格而定,一般不应大于下列数值:				
			线槽宽度/mm	20~40	60	80~120	
			固定点最大间距/m	0.8	1.0	0.8	
			③塑料线槽布线,在线路连接、转角、分支及终端处应采用相应附件 ④强、弱电线路不应同敷于一根线槽内。线槽内导线或电缆的总截面及根数应符合本表序号1.5中⑦条规定				
2	裸导体布线						
2.1	适用范围		裸导体布线在工厂厂房和变配电所中均得到广泛应用,但此处所涉及的裸导体布线要求只限于工厂厂房,不适用于变配电所				
2.2	裸导体至地面的距离		①无遮护的裸导体至地面的距离,一般不应小于3.5m ②采用防护等级不低于IP2X的网孔遮拦时,裸导体至地面的距离,不应小于2.5m。遮拦与裸导体间的净距不应小于0.1m(采用板状遮拦时此净距不应小于50mm)				
2.3	裸导体与管道间的敷设要求		①裸导体与需经常维护的管道同侧敷设时,裸导体应敷设在管道的上面 ②裸导体与需经常维护的管道(不包括可燃气体及易燃、可燃液体管道)以及与生产设备最凸出部位的净距不应小于1.8m,如不能符合上述要求,应加遮拦				
2.4	裸导体的线间及至建筑物表面的净距		①裸导体的线间及裸导体至建筑物表面的净距(不包括固定点)不应小于下列数值:				
			固定点间距(l)	$l \leq 2m$	$2m < l \leq 4m$	$4m < l \leq 6m$	$l > 6m$
			最小净距/mm	50	100	150	200
		②硬裸导线固定点的间距(档距),应符合在通过最大短路电流时的动稳定要求					
2.5	起重机上方便裸导体的敷设要求		①起重行车上方的裸导体至起重机平台铺板的净距不应小于2.3m,否则在起重机上方便裸导体下方应装设遮拦 ②除滑触线本身的辅助导线外,裸导体不宜与起重机滑触线敷设在同一支架上				
3	封闭式母线布线						
3.1	适用范围		适用于干燥和无腐蚀性气体的室内场所				
3.2	距地高度		水平敷设时,至地面距离不应小于2.2m;垂直敷设时,距地面1.8m以下部分应采取防止机械损伤措施,但敷设在电气专用房间内(如配电室、电机室等)时除外				

(续)

序号	项 目	说 明
3.3	敷设要求	①水平敷设的母线支持点间距不宜大于2m;垂直敷设时应在通过楼板处采用专用附件支承 ②垂直敷设的母线进线盒及末端悬空时,应采用支架固定 ③封闭式母线终端无引出、引入线时,端头应封闭 ④封闭式母线的插接分支点应设在安全及安装维护方便的地方 ⑤封闭式母线的连接不应在穿过楼板或墙壁处进行 ⑥封闭式母线在穿过防火墙及防火楼板时,应采取防火隔离措施
4	竖井内布线	
4.1	适用范围	一般适用于多层和高层建筑内强电及弱电垂直干线的敷设
4.2	布线方式	可采用金属管、金属线槽、电缆、电缆桥架及封闭式母线等布线方式
4.3	竖井位置的选择	竖井的位置和数量,应根据建筑物规模、用电负荷性质、供电半径、建筑物的沉降缝设置和防火分区等因素确定 选择竖井位置时,应考虑下列因素: ①宜靠近用电负荷中心,减少干线电缆沟道的长度 ②不得与电梯井、管道井共用同一竖井 ③避免邻近烟道、热力管道及其它散热量大或潮湿的设施 ④在条件允许时,宜避免与电梯井及楼梯间相邻
4.4	竖井的防火措施	竖井的井壁应是耐火极限不低于1h的非燃烧体。竖井在每层楼应设维护检修门,并应开向公共走廊,其耐火等级不应低于丙级。楼层间应做防火密封隔离: ①封闭式母线、电缆桥架及金属线槽在穿过楼板处采用防火隔板及防火堵料隔离 ②电缆和绝缘导线穿钢管布线时,应在楼层间预埋钢管,布线后两端口空隙应做密封隔离
4.5	竖井大小考虑的因素	竖井大小除满足布线间隔及端子箱、配电箱布置所必需的尺寸外,并宜在箱体前留有不小于0.8m的操作、维护距离
4.6	竖井内垂直布线考虑的因素	竖井内垂直布线时,应考虑以下因素: ①顶部最大变位和层间变位对干线的影响 ②导线、电缆及金属保护管、罩等自重所带来的荷重影响及其固定方式 ③垂直干线与分支干线的连接方法
4.7	竖井内各类电气线路的敷设要求	竖井内高压、低压及应急电源的电气线路,相互之间应保持0.3m及以上距离或采取隔离措施,而且高压线路应设有明显标志。强电和弱电线路,有条件时宜分别设置在不同竖井内。如受条件限制必须合用时,强电和弱电线路应分别布置在竖井两侧或采取隔离措施,以防止强电对弱电的干扰
4.8	其它规定	①竖井内应敷有接地干线和接地端子 ②竖井内不应有与其无关的管道等通过 ③竖井内各种布线应符合相应的有关规定

注:关于电缆布线(包括电缆桥架布线)参看表ZY5-33,本表从略。关于钢索布线,参看GB50054—95。

主要参考文献

- 1 刘介才编. 工厂供电 (第2版). 北京: 机械工业出版社, 1991
- 2 刘介才主编. 工厂供电. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 3 刘介才主编. 工厂供电简明设计手册. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 4 中国航空工业规划设计研究院等编. 工业与民用配电设计手册 (第2版). 北京: 水利电力出版社, 1994
- 5 陈一才编著. 高层建筑电气设计手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990
- 6 国家标准 GB50052—95 供配电系统设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1996
- 7 国家标准 GB50053—94 10kV 及以下变电所设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1994
- 8 国家标准 GB50054—95 低压配电设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1996
- 9 国家标准 GB50059—92 35~110kV 变电所设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1993
- 10 国家标准 GB50060—92 3~110kV 高压配电装置设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1993
- 11 国家标准 GB50168—92 电气装置安装工程 电缆线路施工及验收规范. 北京: 中国计划出版社, 1993
- 12 国家标准 GB50217—94 电力工程电缆设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1995
- 13 行业标准 JGJ/T16—92 民用建筑电气设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1993
- 14 行业标准 JBJ6—96 机械工厂电力设计规范. 北京: 机械工业出版社, 1997
- 15 全国通用建筑标准设计. 电气装置标准图集 变配电所常用设备构件安装 (88D263). 北京: 1988
- 16 全国通用建筑标准设计. 电气装置标准图集 电力变压器室布置 (88D264). 北京: 1988
- 17 全国通用建筑标准设计. 电气装置标准图集 杆上变压器台 (86D265). 北京: 1988
- 18 全国通用建筑标准设计. 电气装置标准图集 落地式变压器台 (86D266). 北京: 1988

六、导线、电缆及其选择 (ZY6)

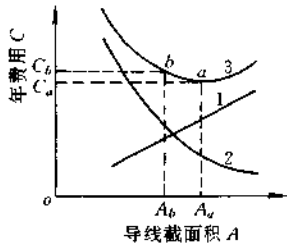
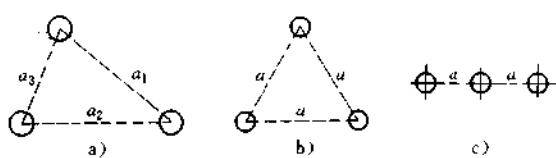
(一) 有关导线和电缆选择的名词术语

有关导线和电缆选择的名词术语，如表 ZY6-1 所示。

表 ZY6-1 有关导线和电缆选择的名词术语

序号	名词术语	含义说明																													
1	(导体的) 载流量 current-carrying capacity (of a conductor); ampacity (of a conductor)	指在规定条件下,导体能够连续承载而不致使其稳态温度超过规定值的最大电流, 又称“允许载流量”或“允许的持续(连续)载流量”																													
2	环境温度 ambient temperature	指电气设备及导线、电缆等使用(运行)场所的空气或其它媒质(如土壤等)的温度 按 GB50060—92 规定, 选择裸导体和电器的环境温度应符合下表规定:																													
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>类别</th> <th>安装场所</th> <th>选取的环境温度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">裸导体</td> <td>屋外</td> <td>最热月平均最高温度</td> </tr> <tr> <td>屋内</td> <td>该处通风设计温度</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">电器</td> <td>屋外</td> <td>年最高温度, 年最低温度</td> </tr> <tr> <td>屋内电抗器</td> <td>该处通风设计最高排风温度</td> </tr> <tr> <td>屋内其它位置</td> <td>该处通风设计温度</td> </tr> </tbody> </table>	类别	安装场所	选取的环境温度	裸导体	屋外	最热月平均最高温度	屋内	该处通风设计温度	电器	屋外	年最高温度, 年最低温度	屋内电抗器	该处通风设计最高排风温度	屋内其它位置	该处通风设计温度														
		类别	安装场所	选取的环境温度																											
		裸导体	屋外	最热月平均最高温度																											
			屋内	该处通风设计温度																											
		电器	屋外	年最高温度, 年最低温度																											
			屋内电抗器	该处通风设计最高排风温度																											
			屋内其它位置	该处通风设计温度																											
		按 GB50217—94 规定, 选择电缆的环境温度应符合下表规定:																													
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>敷设场所</th> <th>机械通风</th> <th>选取的环境温度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>土中直埋</td> <td></td> <td>埋深处的最热月平均地温</td> </tr> <tr> <td>水下</td> <td></td> <td>最热月的日最高水温平均值</td> </tr> <tr> <td>屋外空气中, 电缆沟</td> <td></td> <td>最热月的日最高温度平均值</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">有热源设备的厂房</td> <td>有</td> <td>通风设计温度</td> </tr> <tr> <td>无</td> <td>最热月的日最高温度平均值另加 5℃</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">一般性厂房, 屋内</td> <td>有</td> <td>通风设计温度</td> </tr> <tr> <td>无</td> <td>最热月的日最高温度平均值</td> </tr> <tr> <td>屋内电缆沟</td> <td rowspan="2">无</td> <td rowspan="2">最热月的日最高温度平均值另加 5℃, 但敷设于未装机械通风的隧道、竖井内的电缆数量较多时, 不能直接采取仅加 5℃</td> </tr> <tr> <td>隧道</td> </tr> <tr> <td>隧道</td> <td>有</td> <td>通风设计温度</td> </tr> </tbody> </table>	敷设场所	机械通风	选取的环境温度	土中直埋		埋深处的最热月平均地温	水下		最热月的日最高水温平均值	屋外空气中, 电缆沟		最热月的日最高温度平均值	有热源设备的厂房	有	通风设计温度	无	最热月的日最高温度平均值另加 5℃	一般性厂房, 屋内	有	通风设计温度	无	最热月的日最高温度平均值	屋内电缆沟	无	最热月的日最高温度平均值另加 5℃, 但敷设于未装机械通风的隧道、竖井内的电缆数量较多时, 不能直接采取仅加 5℃	隧道	隧道	有	通风设计温度
		敷设场所	机械通风	选取的环境温度																											
		土中直埋		埋深处的最热月平均地温																											
		水下		最热月的日最高水温平均值																											
		屋外空气中, 电缆沟		最热月的日最高温度平均值																											
		有热源设备的厂房	有	通风设计温度																											
无	最热月的日最高温度平均值另加 5℃																														
一般性厂房, 屋内	有	通风设计温度																													
	无	最热月的日最高温度平均值																													
屋内电缆沟	无	最热月的日最高温度平均值另加 5℃, 但敷设于未装机械通风的隧道、竖井内的电缆数量较多时, 不能直接采取仅加 5℃																													
隧道																															
隧道	有	通风设计温度																													

(续)

序号	名词术语	含义说明
3	(导体) 最高持续工作温度 maximum continuous operating temperature (of a conductor)	指导线、电缆在其敷设的任一位置上,其绝缘可在长期的持续工作情况下,不受严重损坏地承受的最高温度。对裸导体,则指它本身(主要是其接头处)可在长期的持续工作情况下,不受严重损坏地承受的最高温度,它又称“最高允许工作温度”
4	(导体的) 经济截面积 economic section (of a conductor)	指能使线路的年运行费用趋于最小而又适当考虑有色金属节约的导线或电缆截面积。如右图所示,曲线1表示线路的年折旧费、维修管理费等与导线截面积的关系曲线,曲线2表示线路年电能损耗费与导线截面积的关系曲线,曲线3为曲线1和曲线2的叠加,表示线路的年运行费用与导线截面积的关系曲线。由曲线3可知,与年运行费用最小值 C_a (a点) 相对应的导线截面积 A_a 不一定是经济合理的,因为a点附近,曲线3比较平坦,如选为b点的导线截面积 A_b ,其年运行费用 C_b 比 C_a 增加不多,而导线截面积即有色金属消耗量却显著减少。因此从全面经济效益考虑, A_b 可认为是经济截面积 
5	经济电流密度 economic current-density	指国家根据国情特别是其有色金属(导体材料)资源情况规定的用来计算导线和电缆经济截面积的一种电流密度。我国现在采用的经济电流密度如表ZY6-28 序号1所示
6	折旧费 depreciation charge	指固定资产投资额除以折旧年限(规定使用寿命)所得的年费用。对线路来说,其折旧费为线路的总投资除以折旧年限所得的年费用
7	(电力线路的) 年运行费 annual operating charge (of a electric power line)	指电力线路的年折旧费、维修费、管理费及电能损耗费等的总和。年运用费用是计算线路送电成本和电价的重要依据
8	无感线路 non-inductance electric ling	指线路感抗与线路电阻相比小到可以略去不计的一类电力线路。如穿管敷设的线路,某种情况下可视为无感线路。负荷功率因数 $\cos\varphi \approx 1$ 即纯有功功率负荷的电力线路如照明线路,亦可视为无感线路
9	线间几何均距 line-to-line distance in geometric average value	指三相导线之间距离的几何平均值,可按下列公式计算: ①一般情况(见图a) $a_{av} = \sqrt[3]{a_1 a_2 a_3}$ ②导线等边三角形排列(见图b) $a_{av} = a$ ③导线水平等距排列(见图c) $a_{av} = \sqrt[3]{2} a = 1.26a$ 

(续)

序号	名词术语	含义说明
10	允许电压损耗 allowable voltage losses	指电力线路电压损耗(线路首端电压与线路末端电压的代数差)的允许值,通常用其对线路额定电压的百分值表示。线路电压损耗允许值,应根据用电设备端子电压偏差允许值(参看表ZY1-6)和变压器高压侧电压偏差的具体情况来确定。通常取为5%;对视觉要求较高的照明线路,则取为3%左右

(二) 导线和电缆的类型及其载流量

1. 裸导线的类型及其载流量 裸导线的类型及其适用范围,如表ZY6-2所示。TJ、LJ、LGJ型裸铝绞线的允许载流量,如表ZY6-3所示。

表ZY6-2 裸导线的类型及其适用范围

序号	型号	名称	适用范围	型号说明
1	TJ	铜绞线	用在不宜采用铝线的架空线路上。根据“节约用铜,以铝代铜”的原则应严格控制使用	T J - □ | | | 铜 绞线 额定截面 (mm ²)
2	LJ	铝绞线	用在受力不大、档距较小及环境正常的架空线路上	L J - □ | | | 铝 绞线 额定截面 (mm ²)
3	LGJ	钢芯铝绞线	用在受力大、档距也较大及环境正常的高压和超高压架空线路上	L G J - □ | | | | 铝 钢芯 绞线 铝线部分 额定截面 (mm ²)
4	LGJF	防腐钢芯铝绞线	用在沿海地区、咸水湖及化工工业地区等周围有腐蚀性物质的高压和超高压架空线路上	L G J F - □ | | | | 铝 钢芯 绞线 防腐 铝线部分 额定截面 (mm ²)

表ZY6-3 TJ、LJ、LGJ的允许载流量

(A)

导线 截面 /mm ²	TJ				LJ				LGJ			
	环境温度				环境温度				环境温度			
	25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	30℃	35℃	40℃
4	50	47	44	41								
6	70	66	62	57								
10	95	89	84	77	75	70	66	61				
16	130	122	114	105	105	99	92	85	105	98	92	85
25	180	169	158	146	135	127	119	109	135	127	119	109
35	220	207	194	178	170	160	150	138	170	159	149	137
50	270	254	238	219	215	202	189	174	220	207	193	178

(续)

导线 截面 mm ²	TJ				LJ				LGJ			
	环境温度				环境温度				环境温度			
	25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	30℃	35℃	40℃
70	340	320	300	276	265	249	233	215	275	259	228	222
95	415	390	365	336	325	305	286	247	335	315	295	272
120	485	456	426	393	375	352	330	304	380	357	335	307
150	570	536	501	461	440	414	387	356	445	418	391	360
185	645	606	567	522	500	470	440	405	515	484	453	416
240	770	724	678	624	610	574	536	494	610	574	536	494
300	890	835	783	720	680	640	597	550	700	658	615	566

注: 1. 本表载流量按导线正常工作温度为70℃计。

2. 本表载流量按室外架空考虑, 无日照, 海拔高度1000m及以下。如海拔高度不同及环境温度不同时, 载流量应予校正(参看表ZY6-24)。

3. 本表据文献[3]编制。

2. 绝缘导线的类型及其载流量 绝缘导线的类型及其适用范围, 如表ZY6-4所示。聚氯乙烯绝缘导线明敷及穿钢管和穿硬塑料管敷设的允许载流量, 如表ZY6-5~6-7所示。

表 ZY6-4 绝缘导线的类型及其适用范围

序号	类别	型号	名称	适用范围
1	橡皮绝缘导线	BX	铜芯橡皮绝缘导线	固定敷设用。为节约橡胶和棉纱, 现趋于淘汰
		BLX	铝芯橡皮绝缘导线	
		BXF	铜芯氟丁橡皮绝缘导线	固定敷设用。由于它具有良好的耐气候老化性能和不延燃性, 并有一定的耐油、耐腐蚀性能, 特别适用于室外
		BLXF	铝芯氟丁橡皮绝缘导线	
		EXR	铜芯橡皮软线	室内安装, 要求导线较柔软的场所用
2	聚氯乙烯绝缘导线	BV	铜芯聚氯乙烯绝缘导线	固定敷设用。可取代 BX 和 BLX
		BLV	铝芯聚氯乙烯绝缘导线	
		BVV	铜芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套绝缘导线	固定敷设用, 且可直接埋地敷设
		BLVV	铝芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套绝缘导线	
		BV-105	铜芯耐热 105℃ 聚氯乙烯绝缘导线	固定敷设用, 适于高温场所
		BLV-105	铝芯耐热 105℃ 聚氯乙烯绝缘导线	
		BVR	铜芯聚氯乙烯绝缘软线	室内安装, 要求导线较柔软的场所用
3	聚氯乙烯绝缘软线	RV	铜芯聚氯乙烯绝缘软线	供各种低压交流移动电器接线用
		RVV	铜芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套软线	
		RV-105	铜芯耐热 105℃ 聚氯乙烯绝缘软线	同 RV, 但适于高温场所
4	阻燃性绝缘导线	ZR-BV	阻燃型铜芯聚氯乙烯绝缘导线	在有高温阻燃要求的场所安装使用
		ZB-BVR	铜芯聚氯乙烯绝缘软线	
		ZR-RV		

六、导线、电缆及其选择 (ZY6)

(续)

序号	类别	型号	名称	适用范围
5	单芯绝缘导线全型号的表示		$\begin{array}{cccc} \square & - & \square & - 1 \times \square \\ | & & | & | \\ \text{绝缘} & & \text{额定} & \text{单} & \text{额定} \\ \text{导线} & & \text{电压} & \text{芯} & \text{截面} \\ \text{型号} & & (\text{V}) & & (\text{mm}^2) \end{array}$	
6	绝缘导线在三相四线电路中带敷设方式的表示		$\begin{array}{ccccccc} \square & - & \square & - 3 \times \square & + 1 \times \square & + \text{PE} & \square & - & \square \\ | & & | & | & | & & | & & | \\ \text{绝缘} & & \text{额定} & \text{根} & \text{相线} & \text{根} & \text{中性线} & & \text{PE线} & & \text{敷设} \\ \text{导线} & & \text{电压} & \text{数} & \text{截面} & \text{数} & \text{截面} & & \text{截面} & & \text{方式} \\ \text{型号} & & (\text{V}) & & (\text{mm}^2) & & (\text{mm}^2) & & (\text{mm}^2) & & \text{代号} \end{array}$	
7	绝缘导线穿管带敷设方式的表示		$\begin{array}{ccccccc} \square & - & \square & - & \square & \times & \square & \square & \square & - & \square \\ | & & | & & | & | & | & | & | & & | \\ \text{绝缘} & & \text{额定} & & \text{导线} & \text{导线} & \text{穿线} & \text{管径} & \text{敷设} \\ \text{导线} & & \text{电压} & & \text{根数} & \text{截面} & \text{管代} & (\text{mm}) & \text{方式} \\ \text{型号} & & (\text{V}) & & & (\text{mm}^2) & \text{号} & & \text{代号} \end{array}$	

[注] 导线根数与导线截面的表示与序号6相同

表 ZY6-5 聚氯乙烯绝缘导线明敷的允许载流量 (A)

线芯截面 /mm ²	铜芯 (BV、BVR)				铝芯 (BLV)			
	环境温度				环境温度			
	25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	30℃	35℃	40℃
1	20	19	18	17				
1.5	25	24	23	21	19	18	17	16
2.5	34	32	30	28	27	25	24	22
4	45	42	40	37	34	32	30	28
6	58	55	52	48	45	42	40	37
10	80	75	71	65	63	59	55	51
16	111	105	99	91	85	80	75	70
25	146	138	130	120	111	105	99	91
35	180	170	160	148	138	130	122	113
50	228	215	202	187	175	165	155	144
70	281	265	249	231	217	205	193	178
95	345	325	306	283	265	250	235	218
120	396	375	353	326	302	285	268	248
150	456	430	404	374	345	325	306	283
185	519	490	461	426	403	380	357	311

注: 1. 本表载流量按导线正常工作温度为70℃考虑, 这较以往考虑的导线工作温度(65℃)有所提高, 因此导线允许载流量有所增大。(下同)

2. 本表据文献[3]编制。

表 ZY6-6 聚氯乙烯绝缘导线穿钢管敷设的允许载流量 (A)

型号	截面/mm ²	2根单芯								3根单芯								4根单芯									
						管径/mm								管径/mm								管径/mm					
		25℃	30℃	35℃	40℃	支线		干线		25℃	30℃	35℃	40℃	支线		干线		25℃	30℃	35℃	40℃	支线		干线			
BV 型 铜 芯	1	15	14	13	12	15	16					14	13	12	11	15	16					12	11	10	9	15	16
	1.5	20	19	18	17	15	16					18	17	16	15	15	16					17	16	15	14	15	16
	2.5	28	26	24	23	15	16					25	24	23	21	15	16					23	22	21	19	15	19
	4	37	35	33	30	15	19					33	31	29	27	15	19					30	28	26	24	20	25
	6	50	47	44	41	20	25					43	41	39	36	20	25					39	37	35	32	20	25
	10	69	65	61	57	20	25	25	32	60	57	54	50	25	32	25	32	53	50	47	44	25	32	32	32	38	38
	16	87	82	77	71	25	32	32	38	77	73	69	64	25	32	32	38	69	65	61	57	32	38	32	38	32	(51)
	25	113	107	101	93	32	38	32	38	101	95	89	83	32	38	32	(51)	90	85	80	74	32	(51)	50	(51)	50	(51)
	35	141	133	125	116	32	38	40	(51)	122	115	108	100	32	(51)	40	(51)	111	105	99	91	50	(51)	50	(51)	50	(51)
	50	175	165	155	144	40	(51)	50	(51)	155	146	137	127	40	(51)	50	(51)	138	130	122	113	50	(51)	65		65	
	70	217	205	193	178	50	(51)	50		194	183	172	159	50	(51)	65		175	165	155	144	65		65		65	
	95	265	250	235	218	50		65		239	225	212	196	65		65		212	200	188	174	65		65		65	
	120	307	290	273	252	65		65		276	260	244	226	65		65		244	230	216	200	65		80		80	
	150	350	330	310	287	65		65		318	300	282	261	65		80		281	265	249	231	80		100		100	
185	403	380	357	331	65				360	340	320	296	80		80		318	300	282	261	100		100		100		
BLV 型 铝 芯	2.5	21	20	19	17	15	16					19	18	17	16	15	16					16	15	14	13	15	19
	4	29	27	25	23	15	19					25	24	23	21	15	19					23	22	21	19	20	25
	6	37	35	33	30	20	25					34	32	30	28	20	25					30	28	26	24	20	25
	10	52	49	46	43	20	25	25	32	47	44	41	38	25	32	25	32	40	38	36	33	25	32	32	32	38	
	16	67	63	59	55	25	32	32	38	59	56	53	49	25	32	32	38	53	50	47	44	32	38	32	38	32	(51)
	25	94	89	84	77	32	38	32	38	74	70	66	61	32	38	32	(51)	69	65	61	57	32	(51)	50	(51)	50	(51)
	35	106	100	94	87	32	38	40	(51)	95	90	85	78	32	(51)	40	(51)	85	80	75	70	50	(51)	50	(51)	50	(51)
	50	133	125	118	109	40	(51)	50	(51)	117	110	103	96	40	(51)	50	(51)	106	100	94	87	50	(51)	65		65	
	70	164	155	146	135	50	(51)	50		152	143	134	124	50	(51)	65		135	127	119	110	65		65		65	
	95	201	190	176	165	50		65		180	170	160	148	65		65		161	152	143	132	65		65		65	
	120	233	220	207	191	65		65		207	195	183	170	65		65		182	172	162	150	65		80		80	
	150	265	250	235	218	65		65		239	225	212	196	65		80		212	200	188	174	80		100		100	
	185	302	285	268	248	65				270	255	240	222	80		80		244	230	216	200	100		100		100	

- 注: 1. 表中穿线管代号: “G” —— 焊接钢管, 管径指内径; “DG” —— 电线管, 管径指外径。
 2. 表中管径为 “(51)” 的电线管, 管壁太薄, 弯曲时易破裂, 故不推荐使用。
 3. 表中管径适用于: 直管 $l \leq 30m$, 一个弯 $l \leq 20m$, 两个弯 $l \leq 15m$, 三个弯 $l \leq 8m$, 超长时应设拉线盒, 或将管径增大一级。
 4. 导线工作温度按 70℃ 计。
 5. 本表据文献 [3] 编制。

A09
11
11

表 ZY6-7 聚氯乙烯绝缘导线穿硬塑料管敷设的允许载流量 (A)

型号	截面 /mm ²	2根单芯				管径 ϕ /mm		3根单芯				管径 ϕ /mm		4根单芯				管径 ϕ /mm	
		25℃	30℃	35℃	40℃	支线	干线	25℃	30℃	35℃	40℃	支线	干线	25℃	30℃	35℃	40℃	支线	干线
BV 型 铜 芯	1	13	12	11	10	16		12	11	10	10	16		11	10	9	9	16	
	1.5	17	16	15	14	16		16	15	14	13	16		14	13	12	11	16	
	2.5	25	24	23	21	16		22	21	20	18	16		20	19	18	17	20	
	4	33	31	29	27	16		30	28	26	24	20		27	25	24	22	20	
	6	43	41	39	36	20		38	36	34	31	20		34	32	30	28	25	
	10	59	56	53	49	25	25	52	49	46	43	25	32	47	44	41	38	32	32
	16	76	72	68	63	25	32	69	65	61	57	32	40	60	57	54	50	32	40
	25	101	95	89	83	32	40	90	85	80	74	40	40	80	75	71	65	40	50
	35	127	120	113	104	40	50	111	105	99	91	40	50	99	93	87	81	50	63
	50	159	150	141	131	50	50	140	132	124	115	50	63	124	117	110	102	63	63
	70	196	185	174	161	50	63	177	167	157	145	63	63	157	148	139	129	63	63
95	244	230	216	200	63	63	217	205	193	178	63		196	185	174	161	63		
120	286	270	254	235	63	63													
BLV 型 铝 芯	2.5	19	18	17	16	16		17	16	15	14	16		15	14	13	12	20	
	4	25	24	23	21	16		23	22	21	19	20		20	19	18	17	20	
	6	33	31	29	27	20		29	27	25	23	20		27	25	24	22	25	
	10	45	42	39	37	25	25	40	38	36	33	25	32	35	33	31	29	32	32
	16	58	55	52	48	25	32	52	49	46	43	32	40	47	44	41	38	32	40
	25	77	73	69	64	32	40	69	65	61	57	40	40	60	57	54	50	40	50
	35	95	90	85	78	40	50	85	80	75	70	40	50	74	70	66	61	50	63
	50	121	114	107	99	50	50	108	102	96	89	50	63	95	90	85	78	63	63
	70	154	145	136	126	50	63	138	130	122	113	63	63	122	115	108	100	63	63
	95	186	175	165	152	63	63	167	158	149	137	63		148	140	132	122	63	
120	212	200	188	174	63	63													

- 注：1. 硬塑料管规格为轻型管，管径指内径。
 2. 表中管径适用于：直管， $l \leq 30m$ ，一个弯， $l \leq 20m$ ，两个弯， $l \leq 15m$ ，三个弯， $l \leq 8m$ ，超长时应设拉线盒，或增大一级管径。
 3. 导线工作温度按 70℃ 计。
 4. 本表据文献 [3] 编制。

3. 电力电缆的类型及其载流量 电力电缆型号的表示和含义，如表 ZY6-8 所示。电缆的芯线材质、芯数、绝缘水平、外护层及其适用范围，如表 ZY6-9~13 所示。部分电力电缆的允许载流量，如表 ZY6-14~20 所示。敷设条件不同时电缆载流量的校正系数，如表 ZY6-21 所示。

表 ZY6-8 电力电缆型号的表示和含义

序号	项 目	说 明			
1	电缆全型号的组成格式	<p>类别代号 ————</p> <p>导体材质 ————</p> <p>内护套代号 ————</p> <p>特征代号 ————</p> <p>外护层代号 ————</p> <p>— 3 × ———— 相线芯数 截面 (mm²)</p> <p>+ 1 × ———— 中性线芯数 截面 (mm²)</p> <p>——— 额定电压 (V)</p>			
2	电缆类别代号	Z	油浸纸绝缘电力电缆		
		V	聚氯乙烯绝缘电力电缆		
		YJ	交联聚乙烯绝缘电力电缆		
		X	橡皮绝缘电力电缆		
3	导体材质代号	L	铝导体	LH	铝合金导体
		T	铜导体 (一般不标)	TR	软铜导体
4	内护套代号	Q	铅包		
		L	铝包 (现不生产)		
		V	聚氯乙烯护套		
5	特征代号	P	滴干式		
		D	不滴流式		
		F	分相铅包式		
6	外护层代号 (型号)	02	聚氯乙烯套		
		03	聚乙烯套		
		20	裸钢带铠装		
		(21)	钢带铠装纤维外被		
		22	钢带铠装聚氯乙烯套		
		23	钢带铠装聚乙烯套		
		30	裸细圆钢丝铠装		
		(31)	细圆钢丝铠装纤维外被		
		32	细圆钢丝铠装聚氯乙烯套		
		33	细圆钢丝铠装聚乙烯套		
		(40)	裸粗圆钢丝铠装		
		41	粗圆钢丝铠装纤维外被		
		(42)	粗圆钢丝铠装聚氯乙烯套		
		(43)	粗圆钢丝铠装聚乙烯套		
		441	双粗圆钢丝铠装纤维外被		
· 241	钢带-粗圆钢丝铠装纤维外被				
2441	钢带-双粗圆钢丝铠装纤维外被				

注：1. 括号内代号的外护层不推荐采用。若用户需要，也可生产 (据 GB2952—82)。
 2. “架空电缆”系列的型号，在电缆类别代号前面加“JK”。例如“JKYJ”表示“铜芯交联聚乙烯绝缘架空电缆” (据 GB14049—93)。

表 ZY6-9 电缆芯线的材质及其适用范围 (据 GB50217—94)

序号	缆芯材质	适用范围
1	铜芯	①控制电缆必须采用铜芯 ②电机励磁、重要电源、移动式电气设备等需要保持连接且要求具有高可靠性的回路, 必须采用铜芯电缆 ③对振动剧烈、有爆炸危险或对铝有腐蚀等严酷的工作环境以及耐火电缆, 均必须采用铜芯电缆 ④在紧靠高温设备配置及安全性要求高的重要公共设施中, 在水下敷设当工作电流较大需增多电缆根数时, 均宜采用铜芯电缆
2	铝芯	一般情况下 (除上述应采用或宜采用铜芯电缆的情况外), 均应采用铝芯电缆

表 ZY6-10 电缆芯线及其适用范围 (据 GB50217—94)

序号	电缆芯数	适用范围
1	三芯	①高压系统的三相电路 ②低压 IT 系统的三相电路 ③低压 TN-S 系统的单相电路 ④低压 TN-C 系统的两相三线电路
2	四芯	①低压 TN-C 系统的三相四线电路 ②低压 TT 系统的三相四线电路
3	五芯	低压 TNS 系统的三相四线 (外加 PE 线) 电路
4	两芯	①低压 TN-C 系统的单相电路 ②低压 TT 系统的单相电路 ③低压 IT 系统的单相电路 ④直路供电电路
5	单芯	①工作电流较大的电路或水下敷设的电路, 当技术经济比较合理时 ②直流供电电路 (必要时选用)

表 ZY6-11 电缆的绝缘水平 (据 GB50217—94)

序号	项目	选择条件	
1	缆芯相间额定电压	不得低于使用回路的工作线电压	
2	交流系统中电力电缆缆芯与绝缘屏蔽或金属套之间的额定电压	中性点直接接地或经低阻抗接地的系统	当接地保护动作在 1min 之内切除故障时, 应按 100% 的使用回路工作相电压选择
		中性点不接地及中性点经高阻抗 (含消弧线圈) 接地的系统	①一般不宜低于使用回路工作相电压的 133% ②在单相接地故障可能持续 8h 以上或发电机回路等安全性要求较高时, 宜采取使用回路工作相电压的 173%
3	交流系统中电缆的冲击耐压水平	应满足系统绝缘配合的要求	
4	控制电缆额定电压的选择	应不低于该回路工作电压, 应满足可能经受的暂态和工频过电压作用要求, 且符合下列规定: ①沿较长高压电缆并行敷设的控制电缆 (导引电缆), 应选用相适合的额定电压 ②在 220kV 及以上高压配电装置敷设的控制电缆, 宜选用 600/1000V, 在有良好屏蔽时可选用 450/750V ③除①②两项情况外, 一般宜选用 450/750V; 当外部电气干扰影响很小时, 可选用较低的额定电压	

表 ZY6-12 电缆外护层的型号及其适用范围 (据 GB2952-82)

电缆外护层型号	电缆外护层名称	适用保护对象	主要适用敷设场所													
			敷设方式							特殊环境条件						
			架空	室内	隧道	电缆沟	管道	埋地		竖井	水下	易燃	强电干扰	严重腐蚀	大拉力	
					一般土壤	多砾石										
02	聚氯乙烯套	铅套	△	△	△	△	△						△		△	
		铝套	△	△	△	△	△	△		△			△		△	
		皱纹钢套或皱纹铝套	△	△	△	△	△	△					△		△	
03	聚乙烯套	铅套	△	△		△	△								△	
		铝套	△	△		△	△	△		△					△	
		皱纹钢套或皱纹铝套	△	△		△	△	△							△	
20	裸钢带铠装	铅套		△	△	△							△			
(21)	钢带铠装纤维外被	铅套						△	△							
22	钢带铠装聚氯乙烯套	铅套		△	△	△		△	△				△		△	
		铝套或皱纹铝套		△	△	△			△				△	△	△	
		非金属套		△	△	△			△				△		△	
23	钢带铠装聚乙烯套	铅套		△		△		△	△						△	
		铝套或皱纹铝套		△		△			△				△	△	△	
		非金属套		△		△			△						△	
30	裸细圆钢丝铠装	各种金属套和非金属套										△		△		
(31)	细圆钢丝铠装纤维外被	铅套						△	△			△				
32	细圆钢丝铠装聚氯乙烯套	各种金属套和非金属套						△	△	△	△	△		△		
33	细圆钢丝铠装聚乙烯护套	各种金属套和非金属套						△	△	△	△			△		
(40)	裸粗圆钢丝铠装	铅套和非金属套										△		△		△
41	粗圆钢丝铠装纤维外被											△			▲	△
(42)	粗圆钢丝铠装聚氯乙烯套										△		△		△	△
(43)	粗圆钢丝铠装聚乙烯套										△				△	△
441	双粗圆钢丝铠装纤维外被											△			▲	△
241	钢带-粗圆钢丝铠装纤维外被											△			▲	△
2441	钢带-双粗圆钢丝铠装纤维外被											△			▲	△

注: 1. 括号内型号不推荐采用。若用户需要也可生产。
 2. △表示适用; ▲表示当采用涂塑钢丝等具有良好非金属防蚀层的钢丝时适用。

表 ZY6-13 部分电力电缆的型号及其适用范围

序号	类别	型号	名称	适用范围
1	粘性油浸纸绝缘铅包电力电缆	ZLQ20 (ZQ20)	铝(铜)芯纸绝缘铅包裸钢带铠装电力电缆	敷设在室内、电缆沟或隧道中,能承受机械压力,但不能承受大的拉力
		ZLQ21 (ZQ21)	铝(铜)芯纸绝缘铅包钢带铠装纤维外被电力电缆	敷设在土壤中,能承受机械压力,但不能承受大的拉力(不推荐使用)
		ZLQ30 (ZQ30)	铝(铜)芯纸绝缘铅包裸细钢丝铠装电力电缆	敷设在竖井和易燃场所,能承受机械压力,并能承受较大的拉力
		ZLQ31 (ZQ31)	铝(铜)芯纸绝缘铅包细钢丝铠装纤维外被电力电缆	敷设在土壤中及需承受拉力大的场所,能承受较大机械压力和拉力(不推荐使用)
		ZLQ41 (ZQ41)	铝(铜)芯纸绝缘铅包粗钢丝铠装纤维外被电力电缆	敷设在水下,能承受较大机械压力和拉力
2	油浸纸滴干绝缘铅包电力电缆	ZLQP20 (ZQP20)	铝(铜)芯油浸纸滴干绝缘铅包裸钢带铠装电力电缆	可用于垂直或高落差处,敷设在室内、电缆沟或隧道中,能承受机械压力,但不能承受大的拉力
		ZLQP21 (ZQP21)	铝(铜)芯油浸纸滴干绝缘铅包钢带铠装纤维外被电力电缆	可用于垂直或高落差处,敷设在土壤中,能承受机械压力,但不能承受大的拉力(不推荐使用)
3	不滴流浸渍纸绝缘铅包电力电缆	ZLQD20 (ZQD20)	铝(铜)芯不滴流浸渍纸绝缘铅包裸钢带铠装电力电缆	与 ZLQP20 (ZQP20) 同
		ZLQD21 (ZQD21)	铝(铜)芯不滴流浸渍纸绝缘铅包钢带铠装纤维外被电力电缆	与 ZLQP21 (ZQP21) 同
4	聚氯乙烯绝缘电力电缆(简称“塑料电缆”)	VLV (VV) VLY (VY)	铝(铜)芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯(Y聚乙烯)护套电力电缆	敷设在室内、沟道中及管子内,耐腐蚀,不延燃,但不能承受机械外力
		VLV20 (VV20)	铝(铜)芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套内裸钢带铠装电力电缆	敷设在室内、沟道中及管子内,能承受机械压力,且耐腐蚀,不延燃,但不能承受大的拉力
		VLV22 (VV22)	铝(铜)芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套内钢带铠装电力电缆	敷设在室内、沟道中、管子内及土壤中,耐腐蚀,不延燃,能承受机械压力,但不能承受大的拉力
		VLV32 (VV32)	铝(铜)芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套内细钢丝铠装电力电缆	可用于垂直及高落差处,敷设在水下或土壤中,耐腐蚀,不延燃,能承受机械压力和较大的拉力
		VLV42 (VV42)	铝(铜)芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套内粗钢丝铠装电力电缆	可用于垂直及高落差处,敷设在水下、海底,能承受机械压力和较大的拉力(不推荐使用)
5	交联聚乙烯绝缘电力电缆(简称“交联塑料电缆”)	YJLV (YJV)	铝(铜)芯交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套电力电缆	敷设在室内、沟道中及管子内,亦可敷设在土壤中,不能承受机械压力,但可承受一定拉力
		YJLV-FR (YJV-FR)	铝(铜)芯交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套阻燃电力电缆	同上,但具有高阻燃要求的场所
		YJL22 (YJ22)	铝(铜)芯交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套内钢带铠装电力电缆	敷设在土壤中,能承受机械压力,但不能承受大的拉力
		YJL22-FR (YJ22-FR)	铝(铜)芯交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套内钢带铠装阻燃电力电缆	同上,但具有高阻燃要求的场所

(续)

序号	类别	型号	名称	适用范围
5	交联聚乙烯绝缘电力电缆 (简称“交联塑料电缆”)	YJL32 (YJ32)	铝(铜)芯交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套内细钢丝铠装电力电缆	可用于垂直或高落差处,敷设在水下或土壤中,能承受机械压力和较大的拉力
		YJL32-FR (YJ32-FR)	铝(铜)芯交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套内细钢丝铠装阻燃电力电缆	同上,但具有高阻燃要求的场所
6	架空电缆	JKLYJ (JKYJ)	铝(铜)芯交联聚乙烯绝缘架空电缆	架空固定敷设
		JKLY (JKY)	铝(铜)芯聚乙烯绝缘架空电缆	
		JKLHYJ	铝合金芯交联聚乙烯绝缘架空电缆	架空固定敷设
		JKLHY	铝合金芯聚乙烯绝缘架空电缆	
		JKTRYJ	软铜芯交联聚乙烯绝缘架空电缆	用于变压器架空引下线
		JKTRY	软铜芯聚乙烯绝缘架空电缆	
		JKLYJ/Q	铝芯轻型交联聚乙烯绝缘架空电缆	架空固定敷设
		JKLHYJ/Q	铝合金芯轻型交联聚乙烯绝缘架空电缆	
		JKLY/Q (JKLHY/Q)	铝(铝合金)芯轻型聚乙烯绝缘架空电缆	

表 ZY6-14 1~3kV 油纸、聚氯乙烯绝缘电缆在空气中敷设时的允许载流量

(据 GB50217—94)

(A)

电缆绝缘类型		粘性浸渍纸、不滴流纸			聚氯乙烯			
护套		有钢铠护套			无钢铠护套			
缆芯最高工作温度		80℃			70℃			
缆芯数		单芯	二芯	三芯或四芯	单芯	二芯	三芯或四芯	
缆芯截面/mm ²	2.5	允许载流量/A				18	15	
	4			30	26	24	21	
	6			40	35	31	27	
	10			52	44	44	38	
	16			69	59	60	52	
	25		116	93	79	95	79	69
	35		142	111	98	115	95	82
	50		174	136	116	147	121	104
	70		218	174	151	179	147	129
	95		267	214	182	221	181	155
	120		312	245	214	257	211	181
	150		356	280	250	294	242	211
	185		414		285	340		246
	240		495		338	410		294
	300		570		383			328
环境温度		40℃						

注: 1. 表中系铝芯电缆数值, 铜芯电缆的允许载流量可乘以 1.29,

2. 单芯电缆只适用于直流。

六、导线、电缆及其选择 (ZY6)

表 ZY6-15 1~3kV 油纸、聚氯乙烯绝缘电缆直埋敷设时的允许载流量
(据 GB50217-94)

(A)

电缆绝缘类型		粘性浸渍纸、不滴流纸			聚氯乙烯			聚氯乙烯			
护套		有钢铠护套			无钢铠护套			有钢铠护套			
缆芯最高工作温度		80℃			70℃			70℃			
缆芯数		单芯	二芯	三或四芯	单芯	二芯	三或四芯	单芯	二芯	三或四芯	
缆芯截面/mm ²	4		34	29	47	36	31		34	30	
	6		45	38	58	45	38		43	37	
	10		58	50	81	62	53	77	59	50	
	16		76	66	110	83	70	105	79	68	
	25		143	105	88	138	105	90	134	100	
	35		172	126	105	172	136	110	162	131	
	50		198	146	126	203	157	134	194	152	
	70		247	182	154	244	184	157	235	180	
	95	允许载流量/A	300	219	186	295	226	189	281	217	180
	120		344	251	211	332	254	212	319	249	207
	150		389	284	240	374	287	242	365	273	237
	185		441		275	424		273	410		264
	240		512		320	502		319	483		310
	300		584		356	561		347	543		347
	400		676			639			625		
500	776				729			715			
630	904			846			819				
800	1032			981			963				
土壤热阻系数		1.5℃·m/W			1.2℃·m/W						
环境温度		25℃									

注：同表 ZY6-14 注。

表 ZY6-16 1~3kV 交联聚乙烯绝缘电缆在空气中敷设时的允许载流量
(据 GB50217-94)

(A)

电缆芯数		三芯		单芯								
单芯电缆排列方式				品字形				水平形				
金属屏蔽层接地点				单侧		两侧		单侧		两侧		
缆芯材质		铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	
缆芯截面/mm ²	25	允许载流量/A	91	118	100	132	100	132	114	150	114	150
	35		114	150	127	164	127	164	146	182	141	178
	50		146	182	155	196	155	196	173	228	168	209
	70		178	228	196	255	196	251	228	292	214	264
	95		214	273	241	310	241	305	278	356	260	310

(续)

电缆芯数		三芯		单芯								
单芯电缆排列方式				品字形				水平形				
金属屏蔽层接地点				单侧		两侧		单侧		两侧		
缆芯材质		铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	
缆芯截 面/mm ²	120	允许载 流量/A	246	314	283	360	278	351	319	410	292	351
	150		278	360	328	419	319	401	363	479	337	392
	185		319	410	372	479	365	461	424	546	369	438
	240		378	483	442	565	424	546	502	643	424	502
	300		419	552	506	643	493	671	583	738	479	552
	400				611	771	579	716	707	906	546	625
	500				712	885	661	803	830	1026	611	693
630			826	1008	734	894	963	1177	680	757		
环境温度		40℃										
缆芯最高工作温度		90℃										

注: 1. 允许载流量的确定, 因缆芯工作温度大于 70℃, 故还应计入数量较多的该类电缆敷设于未装机械通风的隧道、竖井时对环境温升的影响; 直埋电缆的土壤热阻系数宜不小于 2.0℃·m/W。
2. 水平排列电缆相互间中心距为电缆外径的 2 倍。

表 ZY6-17 1~3kV 交联聚乙烯绝缘电缆直埋敷设时的允许载流量

(据 GB50217—94)

(A)

电缆芯数		三芯		单芯				
单芯电缆排列方式				品字形		水平形		
金属屏蔽层接地点				单侧		单侧		
缆芯材质		铝	铜	铝	铜	铝	铜	
缆芯截 面/mm ²	25	允许载 流量/A	91	117	104	130	113	143
	35		113	143	117	169	134	169
	50		134	169	139	187	160	200
	70		165	208	174	226	195	247
	95		195	247	208	269	230	295
	120		221	282	239	300	261	334
	150		247	321	269	339	295	374
	185		278	356	300	382	330	426
	240		321	408	348	435	378	478
	300		365	469	391	495	430	543
	400				456	574	500	635
	500				517	635	565	713
630			582	704	635	796		
缆芯最高工作温度		90℃						
土壤热阻系数		2.0℃·m/W						
环境温度		25℃						

注: 水平排列电缆相互间中心距为电缆外径的 2 倍。

六、导线、电缆及其选择 (ZY6)

表 ZY6-18 6kV 三芯电力电缆在空气中和直埋敷设时的允许载流量
(据 GB50217-94)

(A)

电缆绝缘类型		粘性油浸纸		不滴流纸		聚氯乙烯				交联聚乙烯					
钢铠护套		有						无		有		无		有	
缆芯最高工作温度		65℃		80℃		70℃		70℃		90℃		90℃			
敷设方式		空中	埋地	空中	埋地	空中	埋地	空中	埋地	空中	埋地	空中	埋地		
缆芯截 面/mm ²	10					40	51		50						
	16	46	58	58	63	54	67		65						
	25	62	79	79	84	71	86		83		87		87		
	35	76	94	92	101	85	105		100	114	105		102		
	50	92	114	116	119	108	126		126	141	123		118		
	70	118	140	147	148	129	149		149	173	148		148		
	95	143	167	183	180	160	181		177	209	178		178		
	120	169	193	213	209	185	209		205	246	200		200		
	150	194	215	245	232	212	232		228	277	232		222		
	185	223	249	280	264	246	264		255	323	262		252		
	240	263	288	334	308	293	309		300	378	300		295		
	300	295	323	374	344	323	346		332	432	343		333		
400									505	380		370			
500									584	432		422			
环境温度		40℃	25℃	40℃	25℃	40℃	25℃	40℃	25℃	40℃	25℃	40℃	25℃		
土壤热阻系数		—	1.2	—	1.5	—	1.2	—	1.2	—	2.0	—	2.0		

- 注：1. 表中系铝芯电缆数值；铜芯电缆的允许载流量值可乘以 1.29。
2. 缆芯工作温度大于 70℃ 时，允许载流量的确定还应遵守表 ZY6-16 注 1 的规定。
3. 土壤热阻系数的单位为 “℃·m/W”。

表 ZY6-19 10kV 三芯电力电缆在空气中和直埋敷设时的允许载流量
(据 GB50217-94)

(A)

电缆绝缘类型		粘性油浸纸		不滴流纸		交联聚乙烯			
钢铠护套		有或无		有或无		无		有	
缆芯最高工作温度		60℃		65℃		90℃			
敷设方式		空气中	埋地	空气中	埋地	空气中	埋地	空气中	埋地
缆芯截 面/mm ²	16	42	55	47	59				
	25	56	75	63	79	100	90	100	90
	35	68	90	77	95	123	110	123	100
	50	81	107	92	111	146	125	141	120
	70	106	133	118	138	178	152	173	152
	95	126	160	143	169	219	182	214	182
	120	146	182	168	196	251	205	246	205

(续)

电缆绝缘类型		粘性油浸纸		不滴流纸		交联聚乙烯				
钢铠护套		有或无		有或无		无		有		
缆芯最高工作温度		60℃		65℃		90℃				
敷设方式		空气中	埋地	空气中	埋地	空气中	埋地	空气中	埋地	
缆芯截 面/mm ²	150	允许载 流量/A	171	206	189	220	263	223	278	219
	185		195	233	218	246	324	252	320	247
	240		232	272	261	290	378	292	373	292
	300		260	308	295	325	433	332	428	328
	400						506	378	501	374
	500						579	428	574	424
环境温度/℃		40	25	40	25	40	25	40	25	
土壤热阻系数/(℃·m·W ⁻¹)		—	1.2	—	1.2	—	2.0	—	2.0	

注：1. 表中系铝芯电缆数值；铜芯电缆的允许载流量值可乘以 1.29。
2. 缆芯工作温度大于 70℃ 时，允许载流量的确定还应遵守表 ZY6-16 注 1 的规定。

表 ZY6-20 架空电缆的允许载流量

(A)

电缆额定电压		0.6/1kV								10kV	
缆芯材质		铝芯			铜芯			铝芯	铜芯	铝芯	
电缆芯数		单芯	二芯	四芯	单芯	二芯	四芯	3+K 芯		单芯	
电缆型号		JKLY, JKLYJ JKLHY, JKLHYJ			JKY JKYJ			JKLYJ	JKYJ	JKLY/Q JKLYJ/Q JKLHY/Q JKLHYJ/Q	
缆芯截 面/mm ²	10	允许载 流量/A	60	50		78	65	65	84	100	
	16		85	78	68	110	100	90	72	95	120
	25		120	97	93	145	135	120	93	120	145
	35		150	125	110	185	175	145	115	151	185
	50		180	155	130	215	210	170	140	183	230
	70		205	194	170	275	255	215	185	234	250
	95		260	235	200	330	305	275	215	295	285
	120		315	280	240	410	355	305	265	337	320
	150		360			475					380
	185		420			550					425
	240		500			635					500

注：1. 表中“3+K 芯”的 K 为第四芯，截面可从 10~120mm² 任选。表中数值系按第四芯与相线等截面计。
2. 环境温度按 40℃ 计，电缆芯的最高工作温度按 65℃ 计。
3. 本表据文献 [3] 编制。

表 ZY6-21 敷设条件不同时电缆允许载流量的校正系数
(据 GB50217-94)

序号	项目	敷设条件及校正系数									
		环境 温度	空气中				土壤中				
1	35kV 及以下 电缆在不同 环境温度 时的载流量 校正系数 K	缆芯最高 工作温度	30℃	35℃	40℃	45℃	20℃	25℃	30℃	35℃	
			60℃	1.22	1.11	1.00	0.86	1.07	1.00	0.93	0.85
			65℃	1.18	1.09	1.00	0.89	1.06	1.00	0.94	0.87
			70℃	1.15	1.08	1.00	0.91	1.05	1.00	0.94	0.88
			80℃	1.11	1.06	1.00	0.93	1.04	1.00	0.95	0.90
	90℃	1.09	1.05	1.00	0.94	1.04	1.00	0.96	0.92		
	载流量校正系数 K 的计算公式	$K = \sqrt{\frac{\theta_m - \theta_2}{\theta_m - \theta_1}}$ (此公式对所有导体均适用!) 式中, θ_m 为缆芯最高允许工作温度 (°C); θ_1 为对应于额定载流量的基准环境温度 (°C); θ_2 为实际环境温度 (°C)									
2	不同土壤 热阻系数时 电缆的载流量 校正系数 K'	土壤热阻系数 / (°C · m · W ⁻¹)									
		0.8	1.2	1.5	2.0	3.0					
		土壤很潮湿, 经常下雨, 如湿度大于 9% 的沙土, 湿度大于 14% 的沙-泥土等	土壤潮湿, 规律性下雨, 如湿度大于 7% 但小于 9% 的沙土, 湿度为 12%~14% 的沙-泥土等	土壤较干燥, 雨量不大, 如湿度为 8%~12% 的沙-泥土等	土壤干燥, 少雨, 如湿度大于 4% 但小于 7% 的沙土, 湿度为 4%~8% 的沙-泥土等	多石地层, 非常干燥, 如湿度小于 4% 的沙土等					
		K' 值	1.05	1.00	0.93	0.87	0.75				
	备注	不适用于三相交流系统的单芯电缆									
3	土中直埋 多根电缆的 载流量校正 系数	根数	1	2	3	4	5	6			
		电缆之间 净距	100mm	1.00	0.90	0.85	0.80	0.78	0.75		
			200mm	1.00	0.92	0.87	0.84	0.82	0.81		
			300mm	1.00	0.93	0.90	0.87	0.86	0.85		
	备注	不适用于三相交流系统的单芯电缆									
4	空气中单 层多根并行 敷设时电缆 的载流量校正 系数	根数	1	2	3	4	5	6			
		电缆中心 距 S	s=1d		0.90	0.85	0.82		0.80		
			s=2d	1.00	1.00	0.98	0.95		0.90		
			s=3d		1.00	1.00	0.98		0.96		
	备注	① d 为电缆外径 ② 本表按全部电缆具有相同外径条件制订, 当并列敷设的电缆外径不同时, d 值可近似地取各电缆外径的平均值 ③ 本表不适用于三相交流系统的单芯电缆									

(续)

序号	项目	敷设条件及校正系数														
		叠置电缆层数	一	二	三	四										
5	在电缆桥架上无间距配置多层并列电缆时电缆的载流量校正系数	桥架类别	梯架	0.80	0.65	0.55										
			托架	0.70	0.55	0.50										
	备注	呈水平状并列电缆根数不少于7根														
6	1~6kV 电缆户外明敷无遮阳时的载流量校正系数	缆芯截面/mm ²		35	50	70	95	120	150	185	240					
		电缆额定电压	1kV	三	三			0.90	0.98	0.97	0.96	0.94				
						6kV	三	单	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.88
												0.99	0.99	0.99	0.99	0.98
备注	运用本表系数校正对应的载流量基础值,是采取户外环境温度的户内空气中电缆载流量															

4. 涂漆矩形母线的类型及其载流量 矩形母线的类型及型号说明,如表 ZY6-22 所示。矩形母线的允许载流量,如表 ZY6-23 所示。裸导体的综合校正系数,如表 ZY6-24 所示。

表 ZY6-22 矩形母线的类型及型号说明

序号	类别	型号说明
1	硬铝母线	<p>铝 — L — M — Y — × — 厚度(mm) 母线 — 宽度(mm) 硬</p>
2	硬铜母线	<p>铜 — T — M — Y — × — 厚度(mm) 母线 — 宽度(mm) 硬</p> <p>(一般不采用,而采用硬铝母线)</p>
3	母线型号规格的表示(示例)	<p>LMY - 3 (100×8) + 1 (40×4)</p> <p>硬铝 三根 相线截面 一根 中性线截面 母线 宽(mm)× 厚(mm) 宽(mm)× 厚(mm)</p>

表 ZY6-23 矩形铝母线的允许载流量 (据 GB50060—92)

(A)

母线尺寸 宽×厚 mm×mm	单 条		双 条		三 条	
	平放	竖放	平放	竖放	平放	竖放
40×4	480	503				
40×5	542	562				
50×4	586	613				
50×5	661	692				
63×6.3	910	952	1409	1547	1866	2111
63×8	1038	1085	1623	1777	2113	2379
63×10	1168	1221	1825	1994	2381	2665
80×6.3	1128	1178	1724	1892	2211	2506
80×8	1274	1330	1946	2131	2491	2809
80×10	1427	1490	2175	2373	2774	3114
100×6.3	1371	1430	2054	2253	2633	2985
100×8	1542	1609	2298	2516	2933	3311
100×10	1728	1803	2558	2796	3181	3578
125×6.3	1674	1744	2446	2580	2079	3490
125×8	1876	1955	2725	2982	2375	3813
125×10	2089	2177	3005	3282	3725	4194

注：本表载流量按导体最高允许工作温度 70℃，环境温度 25℃，无风，无日照条件计算而得。如海拔高度和环境温度不同时应按表 ZY6-24 校正。

表 ZY6-24 裸导体载流量在不同海拔高度及环境温度下的综合校正系数 (据 GB50060—92)

导体最高 允许温度	适应范围	海拔高度/m	实际环境温度						
			+20℃	+25℃	+30℃	+35℃	+40℃	+45℃	+50℃
+70℃	屋内矩形、槽形、管形导体 和不计日照的屋外软导线		1.05	1.00	0.94	0.88	0.81	0.74	0.67
+80℃	计及日照时屋外软导线	1000 及以下	1.05	1.00	0.95	0.89	0.83	0.76	0.69
		2000	1.01	0.96	0.91	0.85	0.79		
		3000	0.97	0.92	0.87	0.81	0.75		
		4000	0.93	0.89	0.84	0.77	0.71		
	计及日照时屋外管形导体	1000 及以下	1.05	1.00	0.94	0.87	0.80	0.72	0.63
		2000	1.00	0.94	0.88	0.81	0.74		
		3000	0.96	0.90	0.84	0.76	0.69		
		4000	0.91	0.86	0.80	0.72	0.65		

注：注意本表适用于基准环境温度为+25℃及导体最高允许温度为+70℃或+80℃的裸导体载流量表的校正。

(三) 导线和电缆截面的选择计算

1. 导线和电缆截面积的选择条件和程序 如表 ZY6-25 所示。
2. 按发热条件选择导线和电缆截面积 如表 ZY6-26 所示。

表 ZY6-25 导线和电缆截面积的选择条件和程序

序号	项 目	说 明
1	满足发热条件	即导线和电缆的允许载流量不得小于通过的最大负荷电流(计算电流)
2	满足电压损耗条件	即导线和电缆的电压损耗不得大于允许的电压损耗(配电线路一般为5%)
3	满足机械强度条件	即导线截面不得小于按机械强度所要求的最小截面。对于电缆,由于它有足够的机械强度,因此不考虑此条件
4	满足年运行费最小条件(经济截面积)	对35kV及以上的高压线路以及大载流量的低压线路,其导体的电流密度不宜大于规定的经济电流密度,以使线路的年运行费用趋于最小。一般工厂企业内部的高低压配电线路,可不考虑此条件
5	满足短路稳定度条件	高低压母线一般需校验短路动稳定度和热稳定度,电缆和绝缘导线则需校验短路热稳定度
6	高压线路的导线截面积选择程序	35kV及以上线路,宜先按经济电流密度选择,再校验其它条件。35kV以下线路,则先按发热条件选择,再校验其它条件(除经济电流密度外)
7	低压动力线路的导线截面积选择程序	一般先按发热条件选择,再校验其它条件(除经济电流密度外)。
8	照明线路的导线截面积选择程序	一般先按允许电压损耗选择,再校验其它条件(除经济电流密度外)

表 ZY6-26 按发热条件选择导线和电缆截面积

序号	项 目	说 明
1	相线截面积的选择	相线截面积 A_p 的导线允许载流量 I_{al} 不得小于通过相线的计算电流 I_{30} , 即 $I_{al} \geq I_{30}$ 式中, I_{30} 对变压器高压侧, 应取其高压绕组额定电流; 对并联电容器, 应取其额定电流的 1.35 倍
2	保护线(PE线)截面积的选择	相线截面积 $A_p \leq 16\text{mm}^2$ 时 $A_{PE} = A_p$
		$16\text{mm}^2 < A_p \leq 35\text{mm}^2$ 时 $A_{PE} = 16\text{mm}^2$
		$A_p > 35\text{mm}^2$ 时 $A_{PE} \geq 0.5A_p$
		满足机械强度要求 参考表 ZY6-27 序号 3.1
3	中性线(N线)截面积的选择	一般三相四线制电路的中性线 中性线截面积 A_0 应不小于相线截面积 A_p 的 50%, 即 $A_0 \geq 0.5A_p$
		单相电路的中性线 $A_0 = A_p$
		单相负荷为主的三相四线和两相三线电路的中性线 $A_0 \approx A_p$
		气体放电灯为主的三相四线电路的中性线 $A_0 \geq A_p$
		采用晶闸管调光的三相四线或两相三线电路的中性线 $A_0 \geq 2A_p$

(续)

序号	项 目		说 明	
4	架空线路中性线(N线)截面积的选择	架空线路的中性线,当相线截面积 A_p 为	LJ、LGJ-50及以下	$A_0 = A_p$
			LJ、LGJ-70及以上	$A_0 \geq 0.5A_p$
			TJ-35及以下	$A_0 = A_p$
			TJ-50及以上	$A_0 \geq 0.5A_p \geq 35\text{mm}^2$
5	保护中性线(PEN线)截面积的选择		满足上述PE线(序号2)和N线(序号3)两者的要求,且满足PEN线的机械强度要求(表ZY6-27序号3.2)	

注:表中保护线截面积的要求,是现行国家标准和行业标准的一致要求,而表中“架空线路中性线截面积的选择”,则是行业标准JGJ/T16-92《民用建筑电气设计规范》的规定。

3. 按机械强度选择导线的最小截面积 如表ZY6-27所示。

表ZY6-27 按机械强度选择导线的最小截面积

序号	类 别		最小截面/mm ²		
1	架空线路导线的最小截面积				
1.1	高压线路	铝绞线及铝合金绞线	居民区	35	对35kV架空线路均为35
			非居民区	25	
		钢芯铝绞线	居民区	25	
			非居民区	16	
铜绞线	16				
1.2	低压线路	铝绞线及铝合金绞线	16	低压线路与铁路交叉跨越档,当采用铝绞线时为35	
		钢芯铝绞线	16		
		铜绞线	10(直径3.2mm)		
2	绝缘导线的最小截面积				
2.1	照明用灯头线	铜芯软线	屋内	0.4	
			屋外	1.0	
		铜线	屋内	1.0	
			屋外	1.0	
		铝线	屋内	2.5	
			屋外	2.5	
2.2	移动式用电设备用的铜芯软线		生活用	0.75	
			生产用	1.0	
2.3	架设在绝缘支持件上的绝缘导线	铜线	2m及以下	屋内	1.0
				屋外	1.5
			6m及以下		2.5
			15m及以下		4
		25m及以下		6	
		铝线	2m及以下	2.5	
				6m及以下	4
			15m及以下		6
25m及以下			10		

(续)

序号	类 别		最小截面/mm ²	
2.4	穿管敷设 的绝缘导线	铜芯软线	1.0	
		铜线	1.0	
		铝线	2.5	
2.5	塑料护管 线沿墙明敷 设	铜线	1.0	
		铝线	2.5	
2.6	板孔穿线 敷设	铜线	1.5	
		铝线	2.5	
3	PE线和PEN线的最小截面积			
3.1	PE线	有机械保护时	2.5	
		无机械保护时	4	
3.2	PEN线	单芯导线作PEN干线	铜芯	10
			铝芯	16
		多芯电缆的线芯作PEN线		4

4. 按经济电流密度选择导线和电缆的经济截面积 如表 ZY6-28 所示。

表 ZY6-28 按经济电流密度选择导线和电缆的经济截面积

序号	项 目	说 明				
		线路类型	导体材质	年最大负荷利用小时		
				1000h 以下	1000~5000h	5000h 以上
1	导线和电缆的经济电流密度 j_{ec} / (A · mm ⁻²)	架空线路	铝	1.65	1.15	0.90
			铜	3.00	2.25	1.75
		电缆线路	铝	1.92	1.73	1.54
			铜	2.50	2.25	2.00
2	计算经济截面积	$A_{ec} = \frac{I_{30}}{j_{ec}}$ 式中, I_{30} 为线路的计算电流 可选一接近于 A_{ec} 的标准截面积				

注: 1. “经济截面积”是使线路的年运行费用趋于最小而又适当考虑有色金属节约的导线和电缆截面, 因此按经济电流密度选择, 实质上就是按年运行费最小条件选择。

2. 按经济电流密度选择或校验导线和电缆截面的方法, 只适用于将大电流回路和 35kV 及以上的高压线路的导线和电缆选择。一般企业的高低电压配电路可不按经济电流密度校验。

5. 线路电压损耗的计算 如表 ZY6-29 所示。其三相线路单位长度阻抗值, 如表 ZY6-30 所示。

表 ZY6-29 线路电压损耗的计算

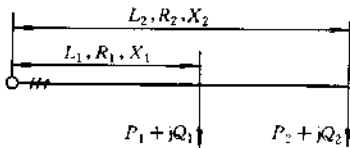
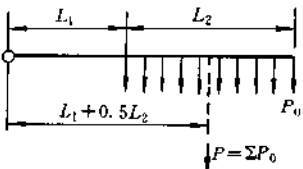
序号	项 目	说 明																						
1	带若干集中负荷的三相线路电压损耗计算	 <p>三相线路的电压损耗 (近似采用其电压降纵分量) 公式为</p> $\Delta U = \frac{\sum (PR + QX)}{U_N}$ <p>由于 $R = R_0L$, $X = X_0L$, $Q = P \tan \varphi$, 因此其电压损耗公式亦可表示为</p> $\Delta U = \frac{\sum [(R_0 + X_0 \tan \varphi) PL]}{U_N}$ <p>式中, R_0 为单位长度电阻; X_0 为单位长度电抗, 可查表 ZY6-30; L 为线路首端至各负荷点的线路长度; PL 称为“功率矩”, 可用 M 表示</p> <p>电压损耗百分值公式为</p> $\Delta U \% = \frac{\Delta U}{U_N} \times 100 = \frac{100 \sum (R_0 + X_0 \tan \varphi) M}{U_N^2}$																						
2	无感线路的电压损耗计算	$\Delta U \% = \frac{100 \sum (R_0 M)}{U_N^2}$ <p>式中, $M = PL$ 为线路功率矩</p>																						
3	“均一无感线路”的电压损耗计算	<p>均一无感线路指全线的导线材质和相线截面一致且可不计感抗或负荷 $\cos \varphi = 1$ 的线路, 因此其电压损耗百分值公式为</p> $\Delta U \% = \frac{100 \sum M}{\gamma A U_N^2} = \frac{\sum M}{CA}$ <p>式中, $M = PL$ 为功率矩; γ 为导线的电导率; A 为导线的截面, $\sum M$ 为线路的所有功率矩之和; C 为计算系数, 与线路额定电压、线路类别及导线材质有关, 如下面序号 4 所示</p>																						
4	公式 $\Delta U \% = \frac{\sum M}{CA}$ 中的计算系数 $C / (\text{kW} \cdot \text{m} \cdot \text{mm}^{-2})$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>线路电压</th> <th>线路类别</th> <th>C 的计算式</th> <th>铝线</th> <th>铜线</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">220/380V</td> <td>三相四线</td> <td>$\frac{\gamma U_N^2}{100}$</td> <td>46.2</td> <td>76.6</td> </tr> <tr> <td>两相三线</td> <td>$\frac{\gamma U_N^2}{225}$</td> <td>20.5</td> <td>34.0</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">220V 110V</td> <td rowspan="2">单相及直流</td> <td>$\frac{\gamma U_N^2}{200}$</td> <td>7.74</td> <td>12.8</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1.94</td> <td>3.21</td> </tr> </tbody> </table>	线路电压	线路类别	C 的计算式	铝线	铜线	220/380V	三相四线	$\frac{\gamma U_N^2}{100}$	46.2	76.6	两相三线	$\frac{\gamma U_N^2}{225}$	20.5	34.0	220V 110V	单相及直流	$\frac{\gamma U_N^2}{200}$	7.74	12.8		1.94	3.21
线路电压	线路类别	C 的计算式	铝线	铜线																				
220/380V	三相四线	$\frac{\gamma U_N^2}{100}$	46.2	76.6																				
	两相三线	$\frac{\gamma U_N^2}{225}$	20.5	34.0																				
220V 110V	单相及直流	$\frac{\gamma U_N^2}{200}$	7.74	12.8																				
			1.94	3.21																				
5	均匀分布负荷的电压损耗计算	 <p>可将分布负荷集中于分布线段的中点, 如图上虚线所示, 然后按集中负荷的线路电压损耗公式计算</p>																						

表 ZY6-30 三相线路单位长度每相阻抗值

类别		导线(线芯)截面积/mm ²														
		2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	
导线	温度/℃	每相电阻/(Ω·km ⁻¹)														
LJ	50					2.07	1.33	0.96	0.66	0.48	0.36	0.28	0.23	0.18	0.14	
LGJ	50							0.89	0.68	0.48	0.35	0.29	0.24	0.18	0.16	
绝缘导线	铝芯	50	13.33	8.25	5.53	3.33	2.08	1.31	0.94	0.65	0.47	0.35	0.28	0.22	0.18	0.14
		60	13.80	8.55	5.73	3.45	2.16	1.36	0.97	0.67	0.49	0.36	0.29	0.23	0.19	0.14
	铜芯	50	8.40	5.20	3.48	2.05	1.26	0.81	0.58	0.40	0.29	0.22	0.17	0.14	0.11	0.09
		60	8.70	5.38	3.61	2.12	1.30	0.84	0.60	0.41	0.30	0.23	0.18	0.14	0.12	0.09
电力电缆	铝芯	55					2.21	1.41	1.01	0.71	0.51	0.37	0.29	0.24	0.20	0.15
		60	14.38	8.99	6.00	3.60	2.25	1.44	1.03	0.72	0.51	0.38	0.30	0.24	0.20	0.16
		75	15.13	9.45	6.31	3.78	2.36	1.51	1.08	0.76	0.54	0.40	0.31	0.25	0.21	0.16
		80					2.40	1.54	1.10	0.77	0.56	0.41	0.32	0.26	0.21	0.17
	铜芯	55					1.31	0.84	0.60	0.42	0.30	0.22	0.17	0.14	0.12	0.09
		60	8.54	5.34	3.56	2.13	1.33	0.85	0.61	0.43	0.31	0.23	0.18	0.14	0.12	0.09
		75	8.98	5.61	3.75	2.25	1.40	0.90	0.64	0.45	0.32	0.24	0.19	0.15	0.12	0.10
		80					1.43	0.91	0.65	0.46	0.33	0.24	0.19	0.15	0.13	0.10
导线	线距/mm	每相电抗/(Ω·km ⁻¹)														
LJ	600					0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28	0.28	
	800					0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.30	
	1000					0.40	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.31	
	1250					0.41	0.40	0.39	0.37	0.36	0.35	0.34	0.34	0.33	0.32	
	1500					0.42	0.41	0.40	0.38	0.37	0.36	0.35	0.35	0.34	0.33	
	2000					0.44	0.43	0.41	0.40	0.40	0.39	0.37	0.37	0.36	0.35	
LGJ	1500							0.39	0.38	0.37	0.35	0.35	0.34	0.33	0.33	
	2000							0.40	0.39	0.38	0.37	0.37	0.36	0.35	0.34	
	2500							0.41	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.37	0.36	
	3000							0.43	0.42	0.41	0.40	0.39	0.39	0.38	0.37	
	3500							0.44	0.43	0.42	0.41	0.40	0.40	0.39	0.38	
	4000							0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40	0.40	0.39	
绝缘线	明敷	100	0.327	0.312	0.300	0.280	0.265	0.251	0.241	0.229	0.219	0.206	0.199	0.191	0.184	0.178
		150	0.353	0.338	0.325	0.306	0.290	0.277	0.266	0.251	0.242	0.231	0.223	0.216	0.209	0.200
	穿管敷设	0.127	0.119	0.112	0.108	0.102	0.099	0.095	0.091	0.081	0.085	0.083	0.082	0.081	0.080	
纸绝缘电缆	1kV	0.098	0.091	0.087	0.081	0.077	0.067	0.065	0.063	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	0.062	
	6kV					0.099	0.088	0.083	0.079	0.076	0.074	0.072	0.071	0.070	0.069	
	10kV					0.110	0.098	0.092	0.087	0.083	0.080	0.078	0.077	0.075	0.073	

(续)

类别		导线(线芯) 截面积/mm ²													
		2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
塑料 电缆	1kV	0.100	0.093	0.091	0.087	0.082	0.075	0.073	0.071	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070
	6kV					0.124	0.111	0.105	0.099	0.093	0.089	0.087	0.085	0.082	0.080
	10kV					0.133	0.120	0.113	0.107	0.101	0.096	0.095	0.093	0.090	0.087

注:表中“线距”为线间几何均距。

主要参考文献

- 1 刘介才编. 工厂供电 (第2版). 北京: 机械工业出版社, 1991
- 2 刘介才主编. 工厂供电简明设计手册. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 3 中国航空工业规划设计研究院等编. 工业与民用配电设计手册 (第2版). 北京: 水利电力出版社, 1994
- 4 国家标准 GB50054—95 低压配电设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1996
- 5 国家标准 GB50060—92 3~110kV 高压配电装置设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1993
- 6 国家标准 GB50217—94 电力工程电缆设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1995
- 7 国家标准 GB2952—82 电缆外护层. 北京: 中国标准出版社, 1983
- 8 国家标准 GB14049—93 额定电压 10kV、35kV 架空绝缘电缆. 北京: 中国标准出版社, 1994
- 9 行业标准 JGJ/T16—92 民用建筑电气设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1993
- 10 行业标准 JBJ6—96 机械工厂电力设计规范. 北京: 机械工业出版社, 1997

七、供电系统的继电保护 (ZY7)

(一) 有关继电保护的名词术语

有关供电系统继电保护的名词术语, 如表 ZY7-1 所示。

表 ZY7-1 有关继电保护的名词术语

序号	名 词 术 语	含 义 说 明
1	继电保护 relay protection	指一种反应电力系统(含供电系统)故障和异常工作状态并及时给予信号或切除故障和异常部分的自动装置, 全称“继电保护装置”。由于它主要采用“继电器”来实现电力系统及其中元件的保护, 因此称为“继电保护”
2	继电器 relay	指一种在输入的物理量(电量或非电量)达到规定值(整定值)时, 其电气输出电路被接通或分断的一种自动电器
3	电气继电器 electrical relay	指一种在电气输入电路中激励量(输入量)的变化达到规定要求时, 其一个或多个电气输出电路中会发生预定的阶跃变化的继电器
4	机电式继电器 electromechanical relay	指在输入电路中电流的作用下, 其机械元件之间发生相对运动而产生预定响应的一类电气继电器。按其结构特点分, 有电磁式继电器、磁电式继电器、感应式继电器、电动(力)式继电器、电动机式继电器和舌簧继电器等。供电系统中最常用的机电式继电器为电磁式和感应式
5	电磁式继电器 electromagnetic relay	指利用电磁铁的铁心与衔铁之间的吸力作用而工作的继电器。这类继电器在供电系统中应用最为广泛
6	感应式继电器 induction relay	指利用交变磁场与该磁场中的可动导体(铝质圆盘、鼓、环)所感应出的电流间的相互作用而工作的继电器。这类继电器的应用也很广泛
7	测量继电器 measuring relay	指在规定条件下, 当具有规定准确度的输入特性量达到动作值时, 其电气输出电路发生预定的阶跃变化的电气继电器。又称“量度继电器”, 曾称“基本继电器”
8	有或无继电器 all-or-nothing relay	指在规定条件下, 预定由高于动作值或低于释放值(或为零值)的电气量所激励而工作的电气继电器。曾称“逻辑运算继电器”
9	保护继电器 protective relay	指用于电力系统继电保护的一类继电器, 含测量继电器和有或无继电器。它较之控制继电器更灵敏更精密
10	控制继电器 control relay	指用于控制、操作回路的一类继电器。它可与其它元器件相结合组成自动控制装置
11	辅助继电器 supplementary relay	①泛指有或无继电器, 其激励量由另一继电器电气输出电路供给, 辅助主继电器实现完整功能。②特指“中间继电器”(序号 18)
12	自保持继电器 latching relay	指撤除激励量后, 仍保持激励时状态的一种继电器。以机械作用保持激励时状态的, 称为“机械保持继电器”。以硬磁或半硬磁材料的磁力作用保持激励时状态的, 称为“磁保持继电器”
15	一次继电器 primary relay	指由主电路的电流或电压直接激励, 中间没有互感器、分流器或变换器的一种继电器。断路器操动机构中的脱扣器就是一种一次继电器
14	二次继电器 secondary relay	指由互感器或变换器的电流或电压激励的一种继电器。供电系统中的保护继电器大多数都是二次继电器

(续)

序号	名 词 术 语	含 义 说 明
15	单稳态继电器 monostable relay	指对一个输入激励量(或特性量)作出响应并改变其状态后,在取消该量时,又返回到原来状态的一种电气继电器
16	双稳态继电器 bistable relay	指对一个输入激励量(或特性量)作出响应并改变其状态后,在取消该量时,仍保持这种状态的一种电气继电器;需要另加一个适当的激励量才能再次转变其状态
17	时间继电器 time delay relay	指在规定条件下,从激励量变化至规定值的瞬间起到继电器输出信号的瞬间止经历预定的并符合准确度要求的时间间隔的定时限有或无继电器,又称“延时继电器”
18	中间继电器 medium relay, auxiliary relay	指用来扩展主继电器触点对数或触点载流容量的有或无继电器,又称“辅助继电器”。由于它通常用于保护装置的出口,因此又有“出口继电器”之称
19	信号继电器 signal relay	指对继电器或其它器件所处状态给出明显标示或接通声、光信号回路的有或无继电器,又称“指示继电器”
20	起动继电器 starting relay	指继电保护装置中用以直接反应被保护对象的某种特性量并在规定条件下动作从而使整个保护装置起动的一种测量继电器
21	极化继电器 polarized relay	指状态的改变取决于输入激励量的极性的直流继电器
22	非极化继电器 non-polarized relay	指状态的改变不取决于输入激励量的极性的直流继电器
23	起动 to start	指继电器离开初始状态的瞬间
24	返回 to return, to reset	指继电器重新回到初始状态或释放状态,又称“复归”
25	切换 to switch	指继电器在给定的输出电路中完成其预定作用的瞬间
26	退出 to disengage	指继电器终止其在给定的输出电路中原来执行的功能
27	动作 to operate	指继电器从释放状态变为工作状态(指一般情况),或从初始状态变为最终状态(指某些测量继电器或定时限继电器的情况),包括起动和切换两个概念
28	动合触点 make contact	指继电器在预定激励时闭合,无激励时断开的触点组件。通称“常开触点”(注:“触点”又称“接点”。)
29	动断触点 break contact	指继电器在预定激励时断开,无激励时闭合的触点组件。通称“常闭触点”
30	转换触点 change-over contact	指由三个触点片组成的两个触点电路的触点组件,其中一个触点片为两个触点电路共用。当其中一个触点电路闭合时,另一个触点电路则断开,或者与此相反 一个触点电路在另一个触点电路断开前闭合的,称为“先合后断转换触点”或“过渡转换触点” 一个触点电路在另一个触点电路闭合前断开的,称为“先断后合转换触点”
31	双断触点 double-break contact	指触点断开后,在触点电路内同时产生两个串联间隙的触点组件。通称“桥式触点”
32	舌簧触点 reed contact	指触点片完全或部分采用磁性材料,且直接由磁力推动以断、合触点电路的触点组件
33	主保护 main protection	指可满足系统稳定和设备安全要求,能以最快速度、有选择地切除被保护设备和全线路故障的保护。又称“基本保护”

(续)

序号	名 词 术 语	含 义 说 明
34	后备保护 reserve protection	指当主保护或断路器拒动时,用以切除故障的保护。后备保护可分为远后备保护和近后备保护两种方式
35	远后备保护 far-reserve protection	指当主保护或断路器拒动时,由相邻电力设备或线路的保护来实现后备的一种保护方式
36	近后备保护 near-reserve protection	指当主保护拒动时,由本电力设备或线路的另一套保护实现后备,而当断路器拒动时,由断路器失灵保护实现后备的一种保护方式
37	辅助保护 auxiliary protection	指为补充主保护和后备保护的性能而增设的简单保护
38	(过流继电器的) 动作电流 operating current (of over-current relay)	指过流继电器线圈中的使继电器动作的最小电流,用 I_{op} 表示。同理,欠压继电器的动作电压,指其线圈中的使继电器动作的最高电压,用 U_{op} 表示
39	(过流继电器的) 返回电流 returning current (of over-current relay)	指过流继电器线圈中的使继电器由动作状态返回(复归)至起始位置的最大电流,用 I_{re} 表示。同理,欠压继电器的返回电压,指其线圈中的使继电器由动作状态返回(复归)至起始位置的最低电压,用 U_{re} 表示
40	返回系数 returning ratio	指继电器的返回电流(或电压)与动作电流(或电压)的比值,即 $K_{re} \stackrel{\text{def}}{=} I_{re}/I_{op}$ 或 $K_{re} \stackrel{\text{def}}{=} U_{re}/U_{op}$ 对过量继电器, $K_{re} < 1$; 对欠量继电器, $K_{re} > 1$
41	(保护装置的) 结线系数 wiring ratio (of protection)	指继电器电流 I_{KA} 与其连接的电流互感器二次电流 I_2 的比值,即 $K_w \stackrel{\text{def}}{=} I_{KA}/I_2$ 对相电流结线, $K_w = 1$; 对相电流差结线, K_w 则依短路形式而异,三相短路时 $K_w = \sqrt{3}$
42	(保护装置的) 灵敏度 sensitivity (of protection)	表征保护装置对其保护区内故障和异常工作状态反应能力的一个参数,又称“灵敏系数”,用被保护的区域内在电力系统为最小运行方式(序号43)时的最小短路电流 $I_{k.min}$ 与保护装置一次动作电流(即保护装置动作电流换算到一次电路之值) $I_{op.1}$ 的比值来表示,即: $S_p \stackrel{\text{def}}{=} I_{k.min}/I_{op.1}$
43	(电力系统的) 最小运行方式 minimum operating form (of power system)	指电力系统处于短路总阻抗最大、短路电流为最小的一种运行方式,例如两台并列运行的变压器只一台运行或双回路供电线路只一回路运行时,就是一种最小运行方式
44	(电力系统的) 最大运行方式 maximum operating form (of power system)	指电力系统处于短路总阻抗最小、短路电流为最大的一种运行方式,例如系统的所有电源运行、所有并列运行的变压器也都并列运行时,就是一种最大运行方式
45	定时限特性 specified-time characteristic	指继电器或保护装置的动作时间与其输入激励量(电流)大小无关而为一固定整定时间的动作特性
46	反时限特性 (inverse-time characteristic)	指继电器或保护装置的动作时间与其输入激励量(电流)平方成反比关系的动作特性,又称“反比延时特性”
47	瞬时特性 instantaneous characteristic	指继电器或保护装置的动作时间极短、可认为是瞬时动作的动作特性,又称“速断特性”
48	10倍动作电流的动作时间 operating time of ten times operating current	指感应式电流继电器标度盘上标示的动作时间,即继电器线圈通过的电流达到动作电流10倍时的动作时间,这是继电器本身能够调节整定的动作时间

(二) 继电保护的任务和求

1. 继电保护的任务和基本要求 如表 ZY7-2 所示。

表 ZY7-2 继电保护的任务和基本要求

序号	项 目	说 明
1	继电保护的任	
1.1	故障时作用于跳闸	在电力系统出现短路等故障时,作用于前方最近的断路器,使之迅速跳闸,切除故障部分,恢复系统其它部分的正常运行,同时发出信号,提醒运行值班人员及时处理事故
1.2	异常时发出信号	在电力系统出现不正常工作状态如过负荷或故障苗头时,发出报警信号,提醒运行值班人员及时处理,以免发展为故障
2	对继电保护的基本要求	
2.1	可靠性	指保护装置该动作时应该动作,不能拒动;而不该动作时,就不能误动。前者为信赖性,后者为安全性,即可靠性包括信赖性和安全性
2.2	选择性	指首先由故障设备或线路本身的保护装置切除故障。当故障设备或线路本身的保护装置拒动时,则由相邻设备或线路的保护装置切除故障
2.3	灵敏性	指在被保护设备或线路范围内发生金属性短路时,保护装置应具有必要灵敏度(灵敏系数,参看表 ZY7-3)
2.4	速动性	指保护装置应尽快地切除短路故障,提高系统稳定性,减轻故障设备和线路的损坏程度。当需要加速切除短路故障时,甚至允许保护装置无选择性地动作,但应利用自动重合闸或备用电源自动投入装置,以缩小停电范围

2. 继电保护的最小灵敏系数 按 GB50062—92《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》规定:保护装置的灵敏系数,应根据不利正常运行方式和不利故障类型进行计算,必要时,应计及短路电流衰减的影响。各类继电保护的最小灵敏系数,应符合表 ZY7-3 的要求。

表 ZY7-3 继电保护的最小灵敏系数(据 GB50062—92)

序号	保护分类	保护类型	组成元件	计算条件	最小灵敏系数
1	主保护	电流保护和电压保护	电流元件和电压元件	按被保护区末端金属性短路计算	1.5
2		带方向的电流保护或电压保护	零序、负序方向元件	按被保护区末端金属性短路计算	2
3		发电机、变压器、线路及电动机纵联差动保护	差电流元件	按被保护区末端金属性短路计算	2
4		母线完全差动保护	差电流元件	按金属性短路计算	2
5		母线不完全差动保护	差电流元件	按金属性短路计算	1.5
6		平行线路横差方向和电流平衡保护	电流元件	线路自一侧断开后,另一侧保护按对侧金属性短路计算	1.5
				线路两侧均未断开前,其中一侧保护按线路中点金属性短路计算	2
7		距离保护	距离起动元件	按被保护区末端金属性短路计算	1.5
	距离测量元件		1.3		
8	变压器、线路及电动机电流速断保护 ^①	电流元件	按保护安装处金属性短路计算	2	

(续)

序号	保护分类	保护类型	组成元件	计算条件	最小灵敏系数
9		中性点非直接接地保护	电流元件	按被保护区末端金属性短路计算	1.5
10	主保护的个别元件	平行线路横差方向保护	零序方向元件	线路自一侧断开后,另一侧保护按对侧金属性短路计算	2.5
				线路两侧均未断开前,其中一侧保护按线路中点金属性短路计算	4
11		距离保护	负序和零序增量(或实变量)起动元件	按被保护区末端金属性短路计算	4
12	后备保护	电流保护和电压保护	电流元件、电压元件	按相邻电力设备和线路末端金属性短路计算	1.2

① 按 JGJ/T16—92 和 JBJ6—96 补充,供参考。

3. 继电保护对指示信号和互感器的要求 按 GB50062—92 规定,如表 ZY7-4 所示。

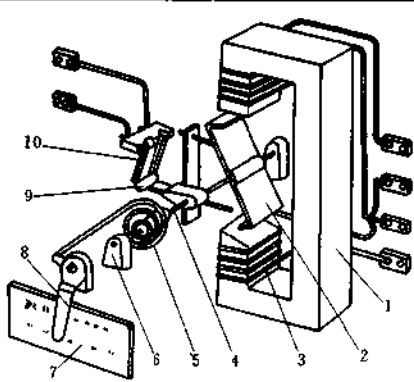
表 ZY7-4 继电保护对指示信号和互感器的要求 (据 GB50062—92)

序号	项目	说明
1	对指示信号的要求	由信号继电器或其它元件构成的指示信号应符合下列要求: ①在直流电压消失时不自动复归,或在直流恢复时仍能维持原动作状态 ②能分别显示各保护装置的动作情况 ③对复杂保护装置,能分别显示各部分及各段的动作情况。根据装置的具体情况,可设置能反应装置内部异常的信号
2	继电保护对互感器的要求	①保护装置采用的电流互感器的稳态比误差,不应大于 10%;对 35kV 及以下的线路和设备,在不致引起保护误动作时,可允许有较大误差 ②电压互感器二次回路在电网正常运行时出现断线会使保护误动作时,应装设断线闭锁装置;如不会使保护误动作时,应装设电压回路断线信号装置

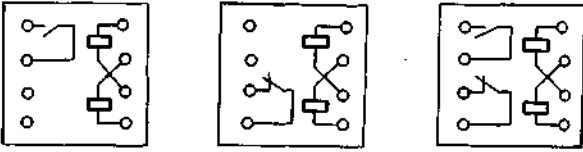
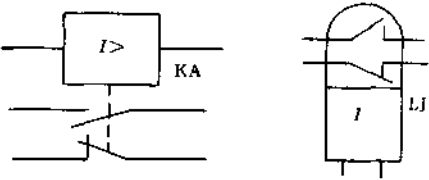
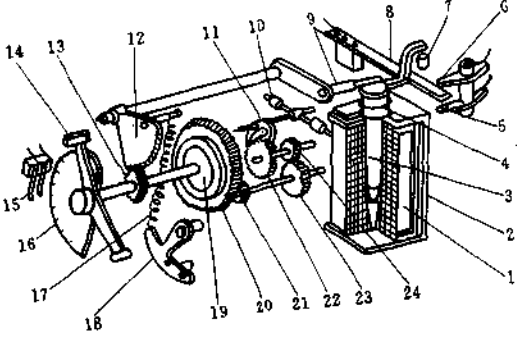
(三) 常用的保护继电器

1. 常用的机电式继电器 如表 ZY7-5 所示。

表 ZY7-5 常用的机电式继电器

序号	项目	说明
1	电磁式电流继电器①	
1.1	基本结构 (DL-10 系列)	 <p>1—电磁铁 2—钢舌片 3—线圈 4—转轴 5—反作用弹簧 6—轴承 7—标度盘(铭牌) 8—起动电流调节转杆 9—动触点 10—静触点</p>

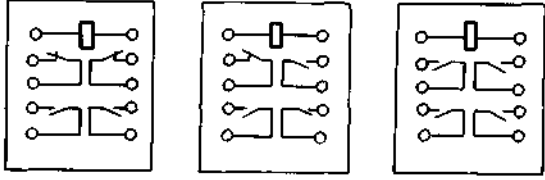
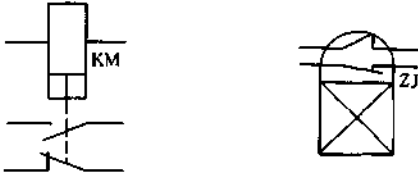
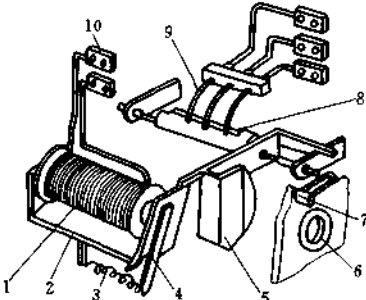
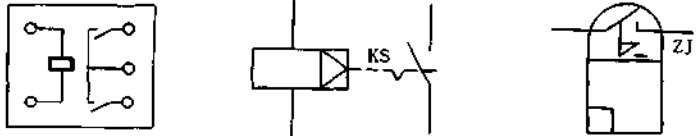
(续)

序号	项目	说明			
1.2	工作原理	当继电器线圈中通过的电流达到动作值时,使固定在转轴上的Z形钢舌片被电磁铁吸引而偏转,导致继电器的触点切换,使动合触点(常开触点)闭合,动断触点(常闭触点)断开,即继电器动作。当线圈断电时,Z形钢舌片被释放,继电器返回起始状态			
1.3	动作特性	该继电器的动作极为迅速,可认为是“瞬时动作”(瞬动),因此该继电器亦称“瞬时继电器”			
1.4	调节方法	平滑调节	利用动作电流调节转杆来改变弹簧的反作用力矩		
		级进调节	利用改变线圈的接法。线圈由串联改为并联,使动作电流增大一倍;反之,线圈由并联改为串联,使动作电流减小一半		
1.5	内部接线	 <p>a) DL-11型 b) DL-12型 c) DL-13型</p>			
1.6	文字符号	新符号	KA	旧符号	LJ
1.7	图形符号	 <p>a) 新符号 (据 GB4728—85) b) 旧符号 (据 GB312—64)</p>			
2	电磁式时间继电器				
2.1	基本结构 (DS-110 120系列)	 <p>1—线圈 2—电磁铁 3—可动铁心 4—返回弹簧 5、6—瞬时静触点; 7—绝缘件 8—瞬时动触点 9—压杆 10—平衡锤 11—摆动卡板 12—扇形齿轮 13—传动 齿轮 14—主动触点 15—主静触点 16—标度盘 17—拉引弹簧 18—弹簧拉力 调节器 19—摩擦离合器 20—主齿轮 21—小齿轮 22—掣轮 23、24—钟表机构传动齿轮</p>			
2.2	工作原理	当继电器线圈通电时,铁心被吸入,使被卡住的一套钟表机构被释放,同时切换瞬时触点,并在拉引弹簧作用下,经过整定的时间,使主触点闭合。当线圈断电时,继电器在弹簧作用下返回起始状态			
2.3	调节方法	继电器的动作时间是利用改变夹紧在标度盘上的主静触点位置(即主静触点与主动触点的相对位置)来调节的。调节的时间范围,在标度盘上标示			

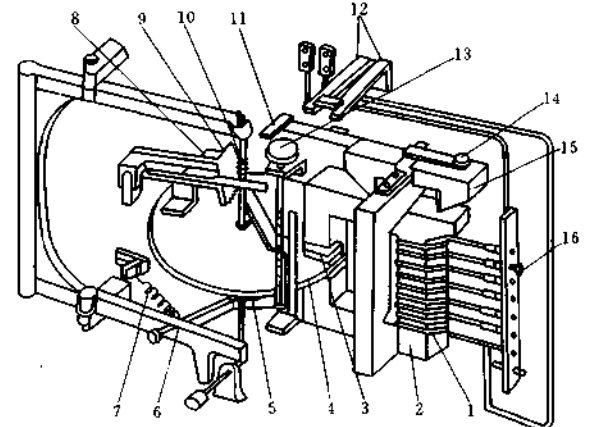
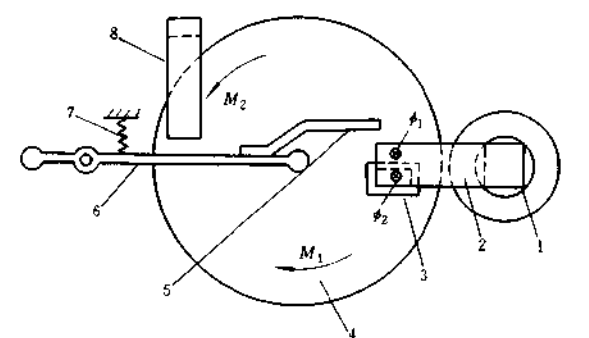
(续)

序号	项目	说明				
2.4	使用注意事项	该继电器的线圈通常不按长期接上额定电压来设计, 因此凡需长期通电的时间继电器, 如 DS-111C 等型 (C 表示“长期工作用”), 应在动作后, 利用其常闭的瞬时触点的断开, 使其线圈串入电阻, 以限制线圈的电流, 以免线圈长期过热烧毁				
2.5	内部接线	<p>a) DS-111、112、113 型 121、122、123</p> <p>b) DS-112C 型</p> <p>c) DS-115、116 型 125、126</p>				
2.6	文字符号	<table border="1"> <thead> <tr> <th>新符号</th> <th>KT</th> <th>旧符号</th> <th>SJ</th> </tr> </thead> </table>	新符号	KT	旧符号	SJ
新符号	KT	旧符号	SJ			
2.7	图形符号	<p>a) 新符号 (据 GB4728-85) b) 旧符号 (据 GB312-64)</p>				
3	电磁式中间继电器					
3.1	基本结构 (DZ-10 系列)	<p>1—线圈 2—电磁铁 3—弹簧 4—衔铁 5—动触点 6、7—静触点 8—连接线 9—接线端子 10—底座</p>				
3.2	工作原理	当继电器线圈通电时, 衔铁被快速吸向电磁铁, 从而使触点切换, 当线圈断电时, 衔铁被快速释放, 触点返回起始位置				
3.3	应用特点	该继电器在继电保护装置中用作辅助继电器, 以弥补主继电器的触点数量或触点容量的不足				

(续)

序号	项目	说明			
3.4	内部接线	 <p>a) DZ-15型 b) DZ-16型 c) DZ-17型</p>			
3.5	文字符号	新符号	KM	旧符号	ZJ
3.6	图形符号	 <p>a) 新符号 (据 GB4728 派生) b) 旧符号 (据 GB312—64)</p>			
4	电磁式信号继电器				
4.1	基本结构 (DX-11型)	 <p>1—线圈 2—电磁铁 3—弹簧 4—衔铁 5—信号牌 6—玻璃观察窗孔 7—复位按钮 8—动触点 9—静触点 10—接线端子</p>			
4.2	类型特点	该型继电器有电流型和电压型两种：电流型的线圈阻抗小，串联在二次回路内不影响其它二次元件的动作；电压型的线圈阻抗大，必须并联在二次回路内			
4.3	工作原理	该继电器在正常状态时，其信号牌是被衔铁支持住的，当继电器线圈通电时，衔铁被吸向铁心而使信号牌掉下，显示其动作信号，同时带动转轴旋转90°，使固定在转轴上的动触点与静触点接通，从而接通信号回路，发出音响或灯光信号。要使信号停止，可旋转外壳上的复位按钮，断开信号回路，同时使信号牌复位			
4.4	文字符号	新符号	KS	旧符号	XJ
4.5	内部接线和图形符号	 <p>a) 内部接线 b) 新符号 (据 GB4728 派生) c) 旧符号 (据 GB312—64)</p>			

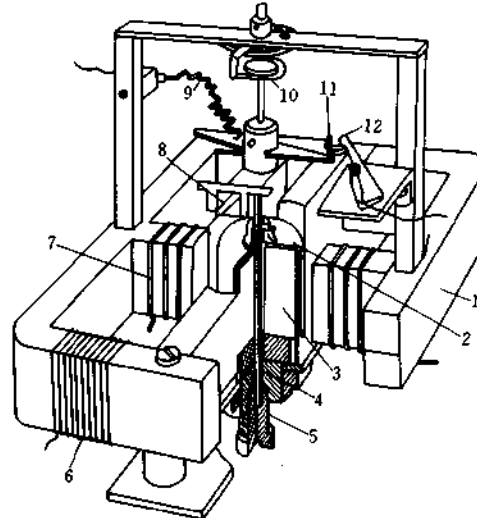
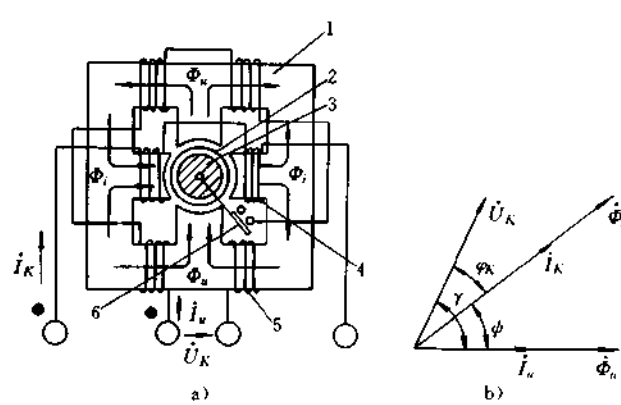
(续)

序号	项目	说明
5	感应式电流继电器	 <p data-bbox="486 896 1308 1019">1—线圈 2—电磁铁 3—短路环 4—铝质圆盘 5—钢片 6—铝质框架 7—调节弹簧 8—制动永久磁铁 9—扇形齿轮 10—蜗杆 11—扁杆 12—继电器触点 13—动作时限调节螺杆 14—速断电流调节螺杆 15—衔铁 16—动作电流调节插销 包括感应元件 (含 1、2、3、4 等) 和电磁元件 (含 1、2、15 等) 两大部分</p>
5.2	工作原理	 <p data-bbox="486 1411 1308 1478">1—线圈 2—电磁铁 3—短路环 4—铝盘 5—钢片 6—框架 7—调节弹簧 8—制动磁铁</p> <p data-bbox="486 1489 1308 1545">当线圈有电流 I_{KA} 通过时, 电磁铁因有一半装有短路环的关系, 而产生两个相位一前一后的磁通 Φ_1 和 Φ_2, 并穿过铝盘, 使铝盘产生转矩:</p> $M_1 \propto \Phi_1 \Phi_2 \sin \phi$ <p data-bbox="486 1579 1308 1635">式中, ϕ 为 Φ_1 与 Φ_2 间的相位差。此式通称“感应式机构的基本转矩方程式”。转矩方向为从领先磁通 Φ_1 向滞后磁通 Φ_2 的方向</p> <p data-bbox="486 1646 1308 1691">由于 $\Phi_1 \propto I_{KA}$, $\Phi_2 \propto I_{KA}$, 而 ϕ 为常数, 因此</p> $M_1 \propto I_{KA}^2$ <p data-bbox="486 1702 1308 1792">铝盘在转矩 M_1 的作用下转动后, 切割永久磁铁两极间的磁通而在铝盘上产生涡流, 这涡流又与磁铁两极间的磁通作用产生一个与 M_1 反向的制动力矩 M_2, 它与铝盘转速 n 成正比, 即</p> $M_2 \propto n$ <p data-bbox="486 1825 1308 1859">当铝盘转速 n 增大到某一定值时, $M_1 = M_2$, 这时铝盘保持匀速转动</p> <p data-bbox="486 1870 1308 1915">继电器铝盘在上述 M_1 和 M_2 的同时作用下, 有使框架绕轴顺时针偏转的趋势, 但受到调节弹簧拉力的限制</p>

(续)

序号	项目	说明				
5.2	工作原理	<p>当继电器线圈电流 I_{KA} 增大到动作电流 I_{op} 时, 铝盘因 M_1 和 M_2 同时作用而产生的偏转力足以克服弹簧拉力, 从而带动框架顺时针偏转, 使蜗杆与扇形齿轮啮合, 这时称为“继电器动作”</p> <p>由于铝盘转动, 使扇形齿轮沿着蜗杆上升, 最后使继电器触点切换, 同时使信号牌 (图上未画出) 掉下, 给出信号</p> <p>如果继电器线圈中的电流大到继电器整定的速断电流时, 这时电磁铁瞬时吸下衔铁, 直接使继电器触点切换, 同时使信号牌掉下, 给出信号</p>				
5.3	动作特性	<p>abc—感应元件的反时限特性 $b'd$—电磁元件的瞬时 (速断) 特性</p>				
5.4	调节方法	<p>继电器的动作电流 (即其感应元件动作电流) I_{op}, 利用插销来改变线圈匝数来进行级进调节, 亦可利用调节弹簧来进行平滑的细调</p> <p>继电器的动作时间, 利用时限调节螺杆来调节, 但这是以“10 倍动作电流的动作时间”来标度的</p> <p>继电器的速断电流倍数 n_{qb} 是利用调节螺钉来改变衔铁与电磁铁之间的气隙来达到调节要求的。其速断电流倍数</p> $n_{qb} = I_{qb} / I_{op} = 2 \sim 8$ <p>式中, I_{qb} 为继电器的速断电流 (quick break current)</p>				
5.5	内部接线	<p>a) GL-11、12 型 21、22 型 b) GL-13、14 型 23、24 型 c) GL-15 型 25 型 d) GL-16 型 26 型</p>				
5.6	文字符号	<table border="1"> <tr> <td>新符号</td> <td>KA</td> <td>旧符号</td> <td>LJ</td> </tr> </table>	新符号	KA	旧符号	LJ
新符号	KA	旧符号	LJ			
5.7	图形符号	<p>a) 新符号 (据 GB4728—85) b) 旧符号 (据 GB312—64)</p>				

(续)

序号	项目	说明
6	感应式功率方向继电器 (功率继电器)	
6.1	基本结构 (GG-11 型)	 <p>1—继电器磁系统 (铁心) 2—铝质圆筒 (转子) 3—固定圆铁心 4—轴 5—轴承 6—电压线圈 7—电流线圈 8—行程限制器 9—电流引线 10—弹簧 11—动触点 12—静触点</p>
6.2	工作原理	 <p>1—铁心 2—铝筒 (转子) 3—固定圆铁心 4—电流线圈 5—电压线圈 6—动静触点</p> <p>如图 a 所示, 当继电器电流线圈有电流 I_K 通过, 而电压线圈加有电压 U_K, 有电流 I_u 通过时, 即在铁心磁路中产生磁通 Φ_k 和 Φ_u, 从而在铝筒上产生转矩</p> $M \propto \Phi_k \Phi_u \sin \phi$ <p>式中, ϕ 为 Φ_k 与 Φ_u 间的相位差; 转矩方向为从领先磁通 Φ_k 向滞后磁通 Φ_u 的方向 (参看本表序号 5.2)</p> <p>继电器的相量图如图 b 所示, φ_K 为电流 I_K 与电压 U_K 间的相位差, Φ_k 与 I_K 同相, Φ_u 与 I_u 同相, γ 为电压线圈的阻抗角, I_u 滞后 U_K 一个阻抗角 γ. GG-11 型功率继电器的 $\gamma = 60^\circ$. 如果其电压线圈回路串入 250Ω 电阻, 则 $\gamma = 45^\circ$</p>

(续)

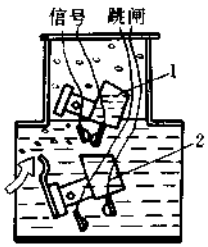
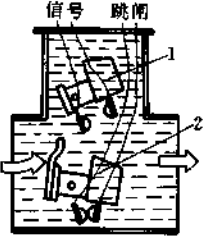
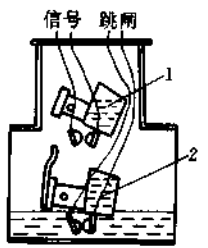
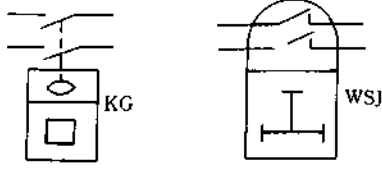
序号	项目	说明			
6.2	工作原理	假设电压线圈加的电压不变, 改变电流线圈中的电流方向, 则继电器可动部分要反向偏转。如果其可动部分反时针方向偏转为动作 (接通触点), 则电流反向时, 可动部分顺时针方向偏转即为不动作 (触点维持断开)。因此该继电器只对电力系统预定的保护方向起作用			
6.3	文字符号	新符号	KP 或 KPD	旧符号	GJ
6.4	图形符号	<p>a) 新符号 (据 GB4728—85 派生) b) 旧符号 (据 GB312—64)</p>			

注: 常用的电磁式 (DY 型) 电压继电器的结构, 与电磁式 (DL 型) 电流继电器基本相同, 只是 DY 型的线圈为电压线圈, 而 DL 型为电流线圈。在工作原理、动作性能和调节方法等方面也基本相同。

2. 常用的瓦斯继电器 瓦斯继电器又称“气体继电器”, 广泛用作油浸变压器的内部故障保护, 其基本结构和工作原理如表 ZY7-6 所示。

表 ZY7-6 常用的瓦斯继电器

序号	项目	说明
1	基本结构 (开口杯式, FJ ₃ -80 型)	<p>1—容器 2—盖板 3—上油杯 4—永久磁铁 5—上动触点 6—上静触点 7—下油杯 8—永久磁铁 9—下动触点 10—下静触点 11—支架 12—下平衡锤 13、16—转轴 14—挡板 15—上平衡锤 17—放气阀 18—接线端子盒</p>
2	工作原理	<p>正常工作时</p> <p>变压器正常工作时, 瓦斯继电器容器内包括上下油杯中均充满了油, 油杯因其平衡锤作用而升高, 因此上下两对触点均断开</p> <p>1—上油杯 2—下油杯</p>

序号	项目	说 明				
2	工作原理	<p>轻 微 故 障 时</p> <p>变压器油箱内部发生轻微故障时,它产生的少量气体缓缓进入容器,并由上而下排除其中的油使油面下降,导致上油杯下降而接通上触点,接通信号回路,这称为“轻瓦斯动作”</p>				
		<p>严 重 故 障 时</p> <p>变压器油箱内部发生严重故障时,它产生的大量气体带动油流冲击继电器的挡板,迫使下油杯下降而接通下触点,通常是接通跳闸回路,这称为“重瓦斯动作”</p>				
		<p>变 压 器 漏 油 时</p> <p>当变压器油箱漏油时,使得瓦斯继电器内的油也慢慢流尽,先是上油杯降落,发出报警信号,而后是下油杯降落,使断路器跳闸,切除变压器</p>				
3	文字符号	新符号	KG	旧符号	WSJ	
4	图形符号	 <p>a) 新符号 (据 GB4728—85) b) 旧符号 (据 GB312—64)</p>				

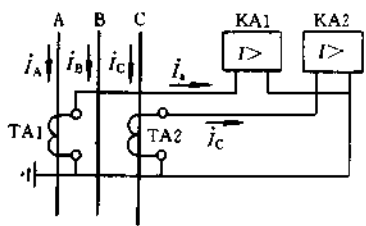
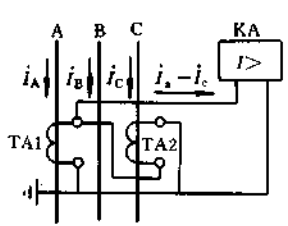
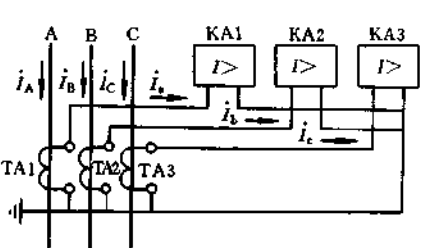
(四) 常用的继电保护装置

1. 继电保护与电流互感器的接线方式 如表 ZY7-7 所示。

FOR

图 7-7 符号手册

表 ZY7-7 继电保护与电流互感器的接线方式

序号	类别	说明
1	两相两继电器式接线	<p>又称“两相不完全星形接线”，如下图所示</p>  <p>接线系数 $K_w=1$。不论何种相间短路，保护装置的灵敏度都相同</p>
2	两相一继电器式接线	<p>又称“两相电流差接线”，如下图所示</p>  <p>接线系数依一次电路短路形式而异，三相短路时，$K_w^{(3)} = \sqrt{3}$；A、C 两相短路时，$K_w^{(A,C)} = 2$；A、B 两相或 B、C 两相短路时，$K_w^{(A,B)} = K_w^{(B,C)} = 1$。因此这种接线在不同相间短路时，保护装置的灵敏度有所不同，有的甚至相差一倍，所以这种接线只适用于不重要线路或高压电动机保护</p>
3	三相三继电器式接线	<p>又称“完全星形接线”或“星形 (Y) 接线”，如下图所示</p>  <p>接线系数 $K_w=1$。不论何种短路形式，保护装置的灵敏度都相同。但耗用的互感器和继电器较多，一般只用于中性点直接接地的高压系统</p>

2. 保护装置的操作电源 按 GB50062—92 规定，对保护装置操作电源的一般要求，如表 ZY7-8 所示。保护装置常用的操作电源，如表 ZY7-9 所示。

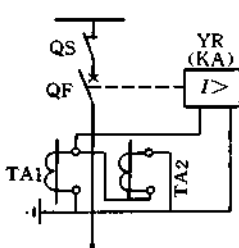
表 ZY7-8 对保护装置操作电源的一般要求 (据 GB50062—92)

序号	项目	说明
1	对用作直流电源的蓄电池组要求	<p>①由浮充电设备引起的波纹系数不应大于 5%</p> <p>②电压允许波动应控制在额定电压的 5% 范围内</p> <p>③放电末期直流母线电压下限不应低于额定电压的 85%，充电后期直流母线电压上限不应高于额定电压的 115%</p>

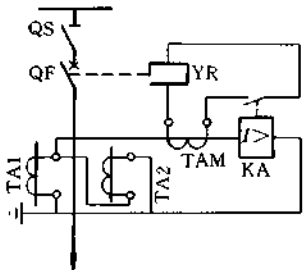
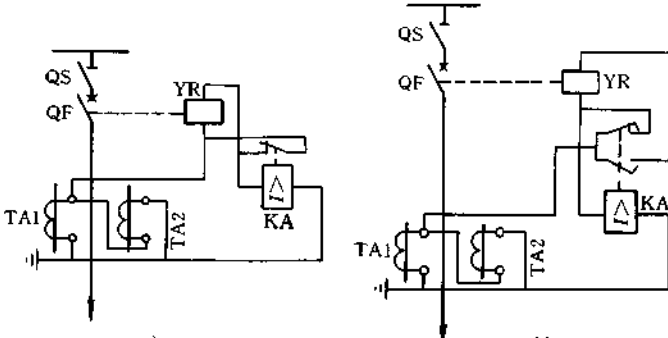
(续)

序号	项目	说明
2	对用作直流电源的交流整流电源要求	<p>①在最大负荷时保护装置动作直流母线电压不应低于额定电压的 80%，最高电压不应超过额定电压的 115%，并应采取稳压、限幅和滤波的措施。电压波动应控制在额定电压的 5% 范围内，波纹系数不应大于 5%</p> <p>②当采用复式整流时，应保证在各种运行方式下，在不同故障点和不同相别短路时，保护装置均能可靠动作</p> <p>③对采用电容储能电源的变电所和水电厂，电力设备和线路应具有可靠的远后备保护；在失去交流电源情况下，当有几套保护同时动作时，或在其它情况下消耗直流能量最大时，应保证保护与断路器可靠动作，同一厂所的电源储能电容的组数应与保护的级数相适应</p>
3	对交流操作电源的要求	<p>①当采用交流操作的保护装置时，短路保护可通过被保护元件的电流互感器取得操作电源</p> <p>②变压器的瓦斯保护和中性点非直接接地电力网的接地保护，可由电压互感器或变电所用变压器取得操作电源，亦可增加电容储能电源作为跳闸的后备电源</p>

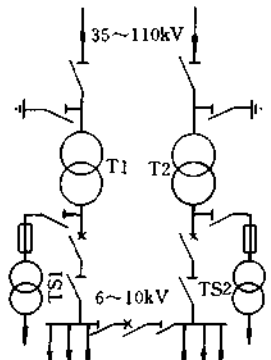
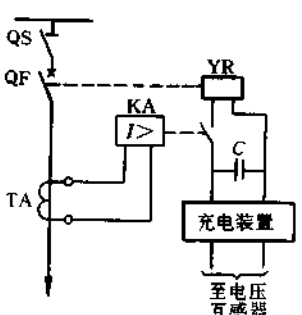
表 ZY7-9 保护装置常用的操作电源

序号	类别	说明
1	直流操作电源	
1.1	铅酸蓄电池组(详见表 ZY8-3 序号 1)	优点是它与交流供电系统无直接联系，因此不受供电系统运行情况的影响，工作可靠。缺点是设备投资大，需设置专用的蓄电池室，且有较大的腐蚀性，运行维护复杂。现中小变电所中基本上不再使用
1.2	镉镍蓄电池组(详见表 ZY8-3 序号 2)	镉镍蓄电池为碱性蓄电池的一种，也是目前变电所广泛应用的一种 镉镍蓄电池组的优点，除了不受供电系统运行情况的影响和工作可靠外，其大电流放电性能好，比功率大，机械强度也较好，使用寿命较长，腐蚀性小，而且它装在专用屏内，无需专用蓄电池室，因而投资较少，运行维护也较简便。现在应用日益广泛
1.3	电容储能的硅整流器(详见表 ZY8-3 序号 3)	优点是设备投资更少，并能减少运行维护工作量。缺点是电容器有漏电问题，且易损坏，工作可靠性不如蓄电池组
2	交流操作电源	
2.1	直接动作式	 <p>如上图所示，利用高压断路器手力操动机构内的过流脱扣器（跳闸线圈）YR 作为过电流继电器 KA（直动式），接成两相一继电器式或两相两继电器式。正常情况下，YR 通过正常的二次电流，远小于 YR 的动作电流，不动作；而在一次电路发生相间短路时，短路电流反应到互感器二次侧，流过 YR，达到或超过 YR 的动作电流，从而使断路器跳闸。这种交流操作方式最为简单经济，但保护灵敏度低，实际上较少应用</p>

(续)

序号	类别	说明
2.2	中间电流互感器供电方式	 <p>如上图所示。正常情况下, 电流继电器 KA 不动作, 其常开触点是断开的, 中间电流互感器 TAM 的二次侧处于开路状态, 断路器的跳闸线圈 YR 不通电, 断路器 QF 不会跳闸。而在一次电路发生相间短路时, KA 动作, 其常开触点闭合, 接通跳闸线圈 YR, 由中间电流互感器 TAM 供给跳闸电流, 使断路器 QF 跳闸, 切除短路故障</p> <p>中间电流互感器的铁心是做成速饱和的, 因此它又称为“速饱和电流互感器。其铁心做成速饱和的目的在于: ①在短路时, 用以限制通过跳闸线圈的电流, 一般限制在 7~12A 内; ②用以减轻电流互感器 TA1、TA2 的二次负载阻抗 (TAM 铁心饱和后阻抗减小)。但采用中间电流互感器作为操作电源, 结线较复杂, 使用的电器较多, 且灵敏度较低, 现已为“去分流跳闸”的交流操作方式 (见本表序号 2.3) 所取代</p>
2.3	“去分流跳闸”的交流操作方式	 <p>如图 a 所示。正常情况下, 电流继电器 KA 的常闭触点将跳闸线圈 YR 短路 (分流), YR 不通电, 因此断路器 QF 不会跳闸。而在一次电路发生相间短路时, KA 动作, 其常闭触点断开, 使 YR 的短路分流支路被去掉 (故称为“去分流”), 从而使电流互感器的二次电流全部通过 YR, 致使断路器跳闸。这种“去分流跳闸”的交流操作方式的突出优点在于结线简单, 省去了中间电流互感器, 提高了保护灵敏度。但这种原理结线不够完善, 因为如继电器 KA 的常闭触点遭受外界振动而偶然断开时将导致断路器误跳闸, 为此, 实际应用的电路如图 b 所示。这种方式在现代企业供电系统中广泛应用。</p> <p>由图 b 可知, 此电路中的电流继电器 (通常采用 $GL-15/25$ 型) 增加了一对常开触点, 与跳闸线圈 YR 串联, 以防止继电器常闭触点偶然断开而造成断路器误跳闸</p> <p>但是, 此过电流继电器的常开、常闭触点, 必须是“先合后断转换触点” (参看表 ZY7-1 序号 30), 否则, 不仅不起保护作用, 而且将造成电流互感器二次侧带负荷开路, 这是不允许的</p>

(续)

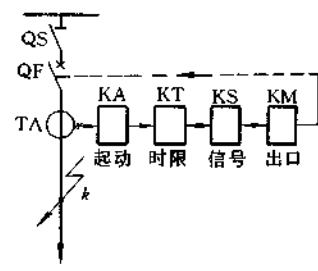
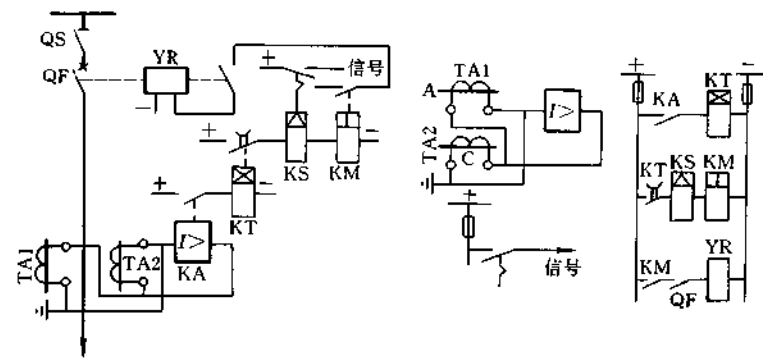
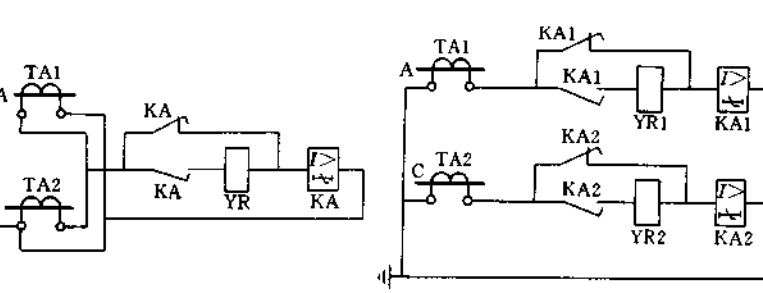
序号	类别	说明
2.4	利用所用变压器作交流操作电源的方式	 <p>如图所示,利用接于主变压器二次侧的所用变压器 TS1 和 TS2 作为交流操作电源,这种方式简单方便,但可靠性不高</p>
2.5	利用预充电的电容器作跳闸电源的方式	 <p>如图所示,由预先充好电的电容器向跳闸线圈 YR 供电。此电容器的电容量 (μF) 可由下式确定</p> $C = (1.5 \sim 2.0) \frac{2W_{YR}}{U_c^2}$ <p>式中, W_{YR} 为跳闸线圈跳闸所需的电能 ($\text{W} \cdot \text{h}$), U_c 为电容器的充电电压 (V) 在电压互感器容量足够时,也可直接利用电压互感器作跳闸电源</p>

3. 带时限的过电流保护 如表 ZY7-10 所示。

表 ZY7-10 带时限的过电流保护

序号	项目	说明
1	带时限过电流保护装置的分类和组成	
1.1	过电流保护的分类	<p>① 定时限过电流保护,其动作时间按整定的动作时间固定不变,与一次电路短路电流大小无关</p> <p>② 反时限过电流保护,其动作时间与一次电路短路电流平方成反比关系,具反时限特性</p>

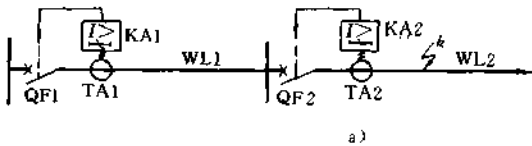
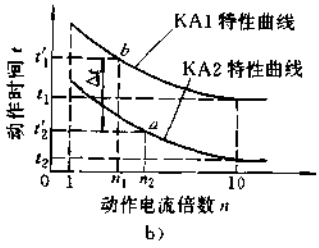
(续)

序号	项目	说明
1.2	过电流保护的组成	<p>其组成框图如右图所示,包括起动元件(电流继电器 KA)、时限元件(时间继电器 KT)、信号元件(信号继电器 KS)和出口元件(中间继电器 KM)等四部分。定时限过电流保护由上述四种继电器组成;而反时限过电流保护则由感应式过电流继电器一种组成,它一身兼有起动、时限、信号和出口四种元件的功能</p>  <p>该框图展示了过电流保护的组成。左侧是电流互感器 TA 的二次绕组，连接到电流继电器 KA 的线圈。KA 的常开触点连接到时间继电器 KT 的线圈。KT 的常开触点连接到信号继电器 KS 的线圈。KS 的常开触点连接到中间继电器 KM 的线圈。KM 的常开触点连接到断路器 QF 的跳闸线圈 YR。此外，KA 还有一个常开触点直接连接到 YR。图中还标有 QS、QF、k 和 QF1-2 等符号。</p>
2	定时限过电流保护的接线和原理	
2.1	定时限过电流保护的原理接线(以两相一继电器式接线为例)	 <p>该图展示了定时限过电流保护的原理接线。左侧是集中表示法绘制的接线图，显示了 TA1、TA2、KA、KT、KS、KM 和 YR 的连接。右侧是分开表示法绘制的展开图，详细展示了每个元件的线圈和触点连接。图中还标有 QS、QF、信号、+、- 等符号。</p> <p>a) 按集中表示法绘制的接线图 b) 按分开表示法绘制的展开图</p> <p>QF—断路器 TA—电流互感器 KA—DL 型电流继电器 KT—DS 型时间继电器 KS—DX 型信号继电器 KM—DZ 型中间继电器 YR—跳闸线圈</p>
2.2	定时限过电流保护的工作原理	<p>当一次电路发生相间短路时,电流继电器 KA 瞬时动作,其触点闭合,使时间继电器 KT 通电动作。KT 经过整定的时限后,其延时触点闭合,使串联的信号继电器 KS (电流型)和中间继电器 KM 通电动作。KS 动作后,其信号牌掉下,同时接通信号回路,给出灯光或音响信号; KM 动作后,接通跳闸线圈 YR 的回路,使断路器 QF 跳闸,切除一次电路的短路故障。QF 跳闸时,其辅助触点 QF1-2 随之断开跳闸回路,同时 KA 和 KT 自动返回起始状态,而 KS 则可手动复位</p>
3	反时限过电流保护的接线和原理	
3.1	反时限过电流保护的原理接线	 <p>该图展示了反时限过电流保护的原理接线。左侧是两相一继电器式接线展开图，显示了 TA1、TA2、KA、YR 和 KA 的连接。右侧是两相两继电器式接线展开图，显示了 TA1、TA2、KA1、KA2、YR1、YR2 和 KA1、KA2 的连接。图中还标有 A、C、+、- 等符号。</p> <p>a) 两相一继电器式接线展开图 b) 两相两继电器式接线展开图</p> <p>TA—电流互感器 KA—GL₁₅/₂₅型电流继电器 YR—断路器的跳闸线圈</p>

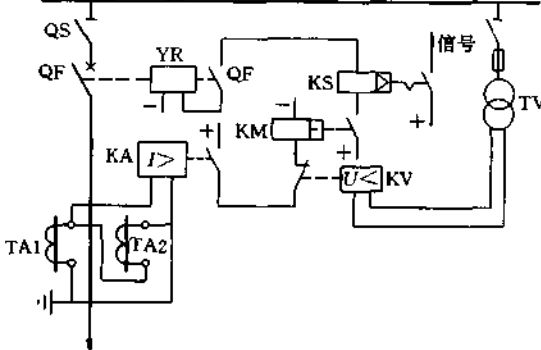
(续)

序号	项目	说明
3.2	反时限过电流保护的工作原理	当一次电路发生相间短路时, 电流继电器 KA 动作, 经过一定延时后, 其常开触点闭合, 紧接着其常闭触点断开。这时断路器因其跳闸线圈 YR 去分流而跳闸, 切除短路故障。与此同时, 继电器的信号牌掉下, 指示保护装置已经动作。在短路故障被切除后, 继电器自动返回, 而信号牌可手动复位
4	带时限过电流保护动作电流的整定	
4.1	过电流保护动作电流整定原则	保护装置的动作电流 I_{op} 应躲过被保护线路 (或变压器, 下同) 的最大负荷电流 (包括正常过负荷电流和尖峰电流) $I_{L \cdot max}$, 以免在最大负荷电流通过时保护装置误动作, 而且保护装置的返回电流 I_{re} 也应躲过此最大负荷电流 $I_{L \cdot max}$ 。这是因为在其后面的某段线路上发生短路故障时, 故障前各段线路的过电流保护均要起动, 而故障段的保护装置动作时间整定得短, 因此首先动作, 切除故障, 此时前面各段的保护装置应该返回, 恢复正常运行。如果前面某段的保护装置返回电流未躲过线路的最大负荷电流, 则在其后面的故障切除后, 该段的保护装置可能不返回, 而在经过整定的时间后, 将错误地断开断路器, 从而扩大了故障停电的范围。这是不能允许的, 因此保护装置的返回电流也应躲过线路的最大负荷电流
4.2	过电流保护动作电流整定计算公式	$I_{op} = \frac{K_{rel} K_w}{K_{re} K_i} I_{L \cdot max}$ <p>式中, K_{rel} 为保护装置的可靠系数, 对 DL 型电流继电器可取 $K_{rel} = 1.2$, 对 GL 型电流继电器可取 $K_{rel} = 1.3$; K_w 为保护装置的接线系数, 对两相两继电器式接线, 取 $K_w = 1$, 对两相一继电器式接线, 取 $K_w = \sqrt{3}$; K_{re} 为保护装置的返回系数, 一般 $K_{re} = 0.8$ 或 0.85, 具体可查产品样本; K_i 为电流互感器变流比; $I_{L \cdot max}$ 为线路或变压器的最大负荷电流, 线路取 $I_{L \cdot max} = (1.5 \sim 3) I_{30}$, 这 I_{30} 为线路的计算电流, 而变压器取 $I_{L \cdot max} = (1.5 \sim 3) I_{1N}$, 这 I_{1N} 为变压器一次绕组额定电流</p>
5	带时限过电流保护动作时间的整定	
5.1	过电流保护动作时间的整定原则和公式	<p style="text-align: center;">线路过电流保护动作时间的整定说明</p> <p>a) 电路 b) 带时限过电流保护 c) 反时限过电流保护</p> <p>按“阶梯原则”整定。如图所示, 在后一级保护装置 KA2 所保护的线路 WL2 的首端 k 点发生三相短路时, 前一级保护装置 KA1 的动作时间 t_1 应比后一级保护装置 KA2 中最长的动作时间 t_2 大一个时间级差 Δt, 即</p> $t_1 \geq t_2 + \Delta t$

(续)

序号	项目	说明
5.1	过电流保护动作时间的整定原则和公式	这时间级差 Δt ，应考虑到前一级保护可能提前动作而后一级保护又可能延后动作等不利因素，还要考虑到继电器可动部分的惯性，再加上保险时间，因此时限过电流保护一般取 $\Delta t=0.5s$ ，反时限过电流保护因 GL 型继电器可动部分惯性较大，一般取 $\Delta t=0.7s$
5.2	定时限过电流保护的时限整定	利用时间继电器来整定动作时间
5.3	反时限过电流保护的时限整定	<p>由于 GL 型电流继电器的时限调节机构是按 10 倍动作电流的动作时间来标度的，而实际动作时间要根据实际动作电流倍数由继电器的动作特性曲线才能查得，因此反时限过电流保护的时限整定，要根据前后两级保护的继电器的动作特性曲线来整定</p> <p>假设在图 a 所示两段线路中，后一级保护 KA2 的 10 倍动作电流的动作时间已经整定为 t_2，现要整定前一级保护 KA1 的 10 倍动作电流的动作时间 t_1，整定计算的步骤如下：</p> <div style="text-align: center;">  <p>a)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>b)</p> </div> <p>①计算 WL2 首端三相短路电流 I_k 反应到 KA2 中的电流值</p> $I'_{k(2)} = I_k K_{w(2)} / K_{i(2)}$ <p>式中，$K_{w(2)}$ 为 KA2 与电流互感器相连的结线系数；$K_{i(2)}$ 为 KA2 所连的电流互感器的变流比</p> <p>②计算 $I'_{k(2)}$ 对 KA2 的动作电流倍数</p> $n_2 = I'_{k(2)} / I_{op(2)}$ <p>式中，$I_{op(2)}$ 为 KA2 已整定的动作电流</p> <p>③确定 KA2 的实际动作时间。从图 b 所示 KA2 的动作特性曲线的横坐标轴上，找出 n_2，然后向上找到该曲线上 a 点，该点所对应的动作时间 t'_2 就是 KA2 在通过 $I'_{k(2)}$ 时的实际动作时间</p> <p>④计算 KA1 的实际动作时间。根据保护选择性的要求，KA1 的实际动作时间 $t'_1 = t'_2 + \Delta t$，取 $\Delta t=0.7s$，故 $t'_1 = t'_2 + 0.7s$</p> <p>⑤计算 WL2 首端三相短路 I_k 反应到 KA1 中的电流值</p> $I'_{k(1)} = I_k K_{w(1)} / K_{i(1)}$ <p>式中，$K_{w(1)}$ 为 KA1 与电流互感器相连的结线系数；$K_{i(1)}$ 为 KA1 所连的电流互感器的变流比</p> <p>⑥计算 $I'_{k(1)}$ 对 KA1 的动作电流倍数</p> $n_1 = I'_{k(1)} / I_{op(1)}$

(续)

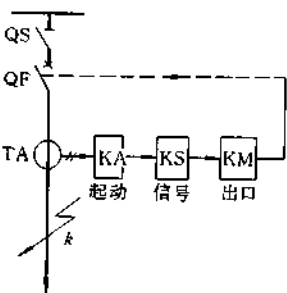
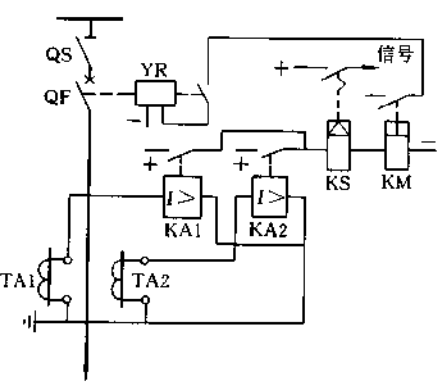
序号	项目	说明
5.3	反时限过电流保护的时限整定	<p>式中, $I_{op(1)}$ 为 KA1 已整定的动作电流</p> <p>⑦确定 KA1 的 10 倍动作电流的动作时间。由图 b 所示 KA1 的动作特性曲线的横坐标轴上, 找出 n_1, 在纵坐标轴上找出 t'_1, 然后找到 n_1 与 t'_1 相交的坐标 b 点, 这 b 点所在曲线所对应的 10 倍动作电流的动作时间 t_1 即为 KA1 应整定的动作时间</p>
6	过电流保护的灵敏度及提高灵敏度的措施	
6.1	过电流保护灵敏度的检验公式	<p>按 GB50062—92 规定, 电流保护的最小灵敏系数 (灵敏度) 为 1.5 (参看表 ZY7-3 序号 1), 而灵敏度为 $S_p = I_{k.min} / I_{op.1}$ (表 ZY7-1 序号 42), 因此过电流保护灵敏度的检验公式为</p> $S_p = \frac{K_w I_{k.min}}{K_i I_{op}} \geq 1.5$ <p>式中, K_w 为保护装置的接线系数; K_i 为保护装置所连的电流互感器的变流比; I_{op} 为保护装置的動作电流; $I_{k.min}$ 为系统在最小运行方式时保护区末端的两相短路电流, 对线路保护, $I_{k.min}$ 为保护线路末端的两相短路电流, 对变压器保护, $I_{k.min}$ 为变压器二次侧两相短路电流换算到一次侧的值</p>
6.2	采用低电压闭锁提高过电流保护灵敏度	 <p>QF—高压断路器 TA—电流互感器 TV—电压互感器 KA—电流继电器 KM—中间继电器 KS—信号继电器 KV—电压继电器 YR—断路器跳闸线圈</p> <p>如上图所示, 低电压继电器 KV 通过电压互感器 TV 接于母线上, 而 KV 的常闭触点则串入电流继电器 KA 的常开触点与中间继电器 KM 的线圈回路中</p> <p>在供电系统正常运行时, 母线电压接近于额定电压, 因此 KV 处于激励状态, 其常闭触点是断开的。由于 KV 的常闭触点与 KA 的常开触点串联, 所以这时 KA 即使由于线路过负荷或出现尖峰电流而误动作, 其常开触点闭合, 也不致造成断路器 QF 误跳闸。正因为如此, 凡有低电压继电器闭锁的这种过电流保护装置的動作电流不必按躲过线路最大负荷电流 $I_{L.max}$ 来整定, 而只需按躲过线路的计算电流 I_{30} (对变压器为其一次额定电流 I_{1N}) 来整定, 当然保护装置的返回电流也应躲过 I_{30} (或 I_{1N}), 即这时过电流保护的動作电流的整定计算公式为</p> $I_{op} = \frac{K_{rel} K_w}{K_i K_r} I_{30}$ <p>由于其 I_{op} 减小, 因此可提高保护的灵敏度</p>
6.3	低电压继电器动作电压的整定计算公式	<p>低电压继电器的動作电压按躲过母线正常最低工作电压 U_{min} 来整定。整定计算公式为</p> $U_{op} = \frac{U_{min}}{K_{rel} K_{re} K_u} \approx (0.6 \sim 0.7) \frac{U_N}{K_u}$ <p>式中, U_{min} 为母线最低工作电压, 取为 $(0.85 \sim 0.95) U_N$; U_N 为线路 (母线) 额定电压; K_{rel} 为保护装置的可靠系数, 可取 1.2; K_{re} 为低电压继电器的返回系数, 一般取 1.15; K_u 为电压互感器的变流比</p>

(续)

序号	项目	说明
7	定时限过电流保护与反时限过电流保护比较	
7.1	定时限过电流保护	<p>优点：动作时间比较精确，整定简便</p> <p>缺点：所需继电器多，结线复杂，且需直流操作电源，投资较大；此外，靠近电源处的保护装置动作时间较长</p>
7.2	反时限过电流保护	<p>优点：继电器数量大为减少，因此投资少，结线简单，且可同时实现电流速断保护，从而更显得简单经济。由于GL型继电器触点容量大，因此可直接接通断路器的跳闸线圈，而且适于交流操作。它广泛应用于中小企业供电系统中</p> <p>缺点：动作时间的整定比较麻烦，而且误差较大；当短路电流较小时，其动作时间可能相当长，延长了故障持续时间</p>

4. 电流速断保护 如表 ZY7-11 所示。

表 ZY7-11 电流速断保护

序号	项目	说明
1	电流速断保护的组成、结线和原理	
1.1	电流速断保护的组成	 <p>其组成框图如上图所示，包括起动元件（电流继电器 KA）、信号元件（信号继电器 KS）和出口元件（中间继电器 KM）等三部分。由电磁式电流继电器组成的电流速断保护是由上述三种继电器组成的；而采用感应式电流继电器时，其电磁元件（速断元件）就可组成电流速断保护</p>
1.2	电流速断保护的结线	<p>采用电磁式电流继电器的两相两继电器式结线的电流速断保护的电路图如下图所示</p>  <p>QF—断路器 TA—电流互感器 KA—DL型电流继电器 KS—DX型信号继电器； KM—DZ型中间继电器 YR—跳闸线圈</p>

(续)

序号	项目	说明
1.3	电流速断保护的工作原理	当一次电路发生相间短路时, 电流继电器 KA 瞬时动作, 接通信号继电器 KS 和中间继电器 KM, KS 给出信号, KM 接通断路器 QF 的跳闸线圈 YR 的回路, 使断路器 QF 跳闸, 快速切除短路故障
2	电流速断保护动作电流 (速断电流) 的整定	
2.1	速断电流整定原则	速断电流应躲过被保护线路末端的最大短路电流 $I_{k \cdot \max}$ (即系统最大运行方式时线路末端的三相短路电流 $I_k^{(3)}$)。因为只有这样整定, 才能避免在后一级速断保护所保护线路的首端发生三相短路时前一级速断保护误动作的可能, 这是由于这后一级线路首端的三相短路电流与前一级线路末端的三相短路电流基本上相等的, 因此只有如此才能保证前后两级速断保护的配合选择性
2.2	速断电流整定计算公式	$I_{qs} = \frac{K_{rel} K_w}{K_i} I_{k \cdot \max}$ 式中, K_{rel} 为保护装置的可靠系数, 对 DL 型继电器可取 1.2~1.3, 对 GL 型继电器可取 1.4~1.5; K_w 为保护装置的接线系数, 对两相两继电器式接线为 1, 对两相一继电器式接线为 $\sqrt{3}$; K_i 为电流互感器变流比; $I_{k \cdot \max}$ 对线路为末端的最大短路电流, 对变压器为其二次侧母线的最大短路电流换算到一次侧的值
3	电流速断保护的“死区”及其弥补	
3.1	电流速断保护的“死区”	<p>保护装置的“死区”, 是指保护装置不能保护的区域 电流速断保护之所以会出现“死区”, 就在于其速断电流的整定是躲过它所保护的线路末端的最大短路电流的, 因此在靠近末端的一段线路上发生短路, 产生的不是最大短路电流时, 特别是在系统处于最小运行方式时, 电流速断保护不会动作, 因而出现了“死区”, 如上图所示。“死区”可达线路全长的 70%~80% 以上</p>
3.2	装设带时限过电流保护来弥补电流速断保护的“死区”	为了弥补电流速断保护的“死区”, 方法之一是装设带时限的过电流保护 (定时限或反时限)。过电流保护的动时间按“阶梯原则” (表 ZY7-10 序号 5) 整定, 以保证选择性 在电流速断保护的保护区内, 速断保护为主保护, 过电流保护为后备保护, 而在电流速断保护的“死区”内, 则过电流保护作为基本保护 下图为线路的定时限过电流保护与电流速断保护配合的电路图

(续)

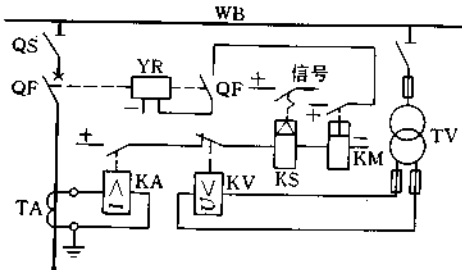
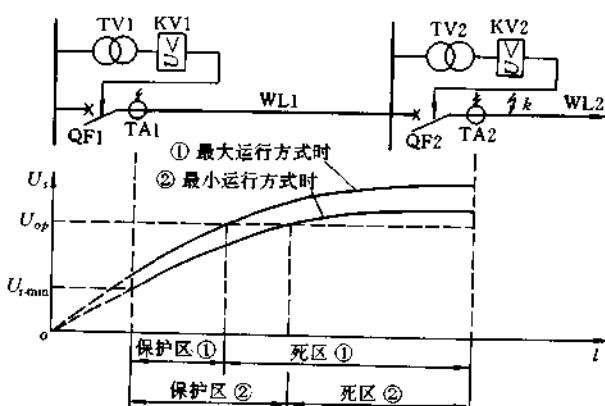
序号	项目	说明
3.2	装设带时限过电流保护来弥补电流速断保护的“死区”	
3.3	装设带时限电流速断保护来弥补电流速断保护的“死区”	<p>弥补电流速断保护“死区”的方法之二是装设带时限的电流速断保护</p> <p>带时限电流速断保护的動作电流(速断电流) $I_{qd(t)}$ 按躲过下一线路的电流速断保护范围末端的最大短路电流 $I_{k(2)\max}$ 来整定, 因此该保护对本线路范围内的各种短路故障均能反应动作。为保证该保护与后一级速断保护之间的选择性, 该保护应取一个动作时间, 比后一级速断保护大一个时间级差 $\Delta t = 0.5 \sim 0.7s$, 即动作时间取为 $t = 0.5 \sim 0.7s$</p> <p>在电流速断保护的保护区内, 速断保护为主保护, 带时限电流速断保护为后备保护; 而在电流速断保护的“死区”内, 则带时限电流速断保护作为基本保护</p> <p>电流速断保护与带时限电流速断保护配合的电路图与序号 3.2 的定时限过电流保护与电流速断保护配合的电路图相同, 此略</p>
4	电流速断保护的灵敏度	
4.1	保护灵敏度检验计算公式	$S_p = \frac{K_w I_{k \cdot \min}}{K_i I_{qd}}$ <p>式中, K_w 为保护装置的接线系数, 两相两继电器式接线为 1, 两相一继电器式接线为 $\sqrt{3}$; K_i 为电流互感器变流比; I_{qd} 为整定的速断电流; $I_{k \cdot \min}$ 对线路为首端两相短路电流, 对变压器为保护安装地点(一次侧)两相短路电流, 均取系统在最小运行方式时的值</p>
4.2	保护灵敏度的要求	按规定, 电流速断保护作为主保护时, $S_p \geq 2$; 作为后备保护时, $S_p \geq 1.2$ (参看表 ZY7-3)

5. 电压速断保护 如表 ZY7-12 所示。

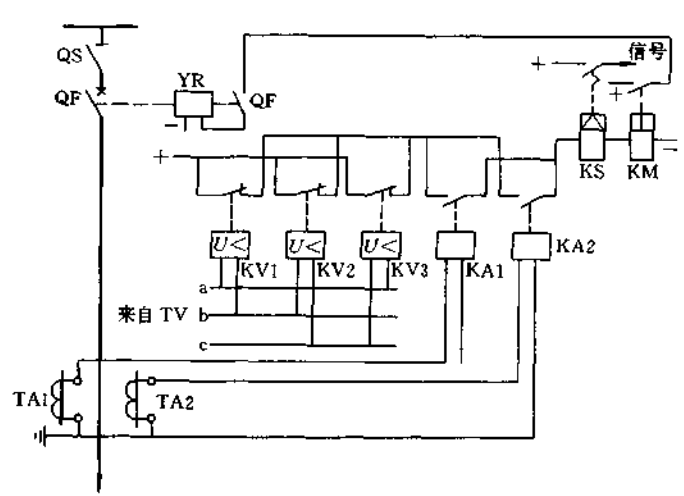
表 ZY7-12 电压速断保护

序号	项目	说明
1	电压速断保护的组成、接线和原理	
1.1	电压速断保护的组成	<p>其组成框图如左图所示, 包括起动元件(低电压继电器 KV)、信号元件(信号继电器 KS)和出口元件(中间继电器 KM)等三部分</p>

(续)

序号	项目	说明
1.2	采用电流闭锁的电压速断保护的接线	<p>采用电流闭锁的电压速断保护单相原理接线图如下图所示</p>  <p>QF—断路器 TV—电压互感器 TA—电流互感器 KV—DY型低电压继电器 KS—DX型信号继电器 KM—DZ型中间继电器 KA—DL型电流继电器 YR—跳闸线圈</p>
1.3	采用电流闭锁的电压速断保护的工作原理	<p>当一次电路正常运行时,母线电压正常,低电压继电器KV处于激励状态,其常闭触点是断开的,因此保护装置的出口回路不通,断路器不会跳闸。为了防止电压互感器TV二次回路出现断线事故时,或者同一母线别的出线上发生短路故障使母线电压降低时,保护装置误动作,导致断路器误跳闸,因此装置由出线电流互感器TA供电的电流继电器KA,使其常开触点与KV的常闭触点串联,即采用过电流保护作为低电压速断保护的闭锁装置。只有当被保护线路上发生短路故障,KA的触点闭合,同时KV的常闭触点在母线电压降低到KV的动作电压及以下时返回闭合,才能接通跳闸回路,使断路器跳闸</p>
2	电压速断保护的动作用电压及其保护区	
2.1	电压速断保护动作电压的整定	<p>电压速断保护的动作用电压U_{op}应躲过系统最小运行方式下被保护线路末端三相短路时保护装设地点的母线残余电压(survival voltage)$U_{r,min}$。其整定计算公式为</p> $U_{op} = \frac{U_{r,min}}{(1.1 \sim 1.2) K_v}$ <p>式中,K_v为电压互感器变压比</p>
2.2	电压速断保护的保护区和死区	<p>电压速断保护的保护区,与电流速断保护的保护区一样,将随运行方式的改变而变化,如下图所示</p>  <p>由上图可以看出,电压速断保护也有“死区”,但最大的“死区”出现在最大运行方式时,这与电流速断保护正好相反,电流速断保护最大的“死区”出现在最小运行方式时(参看表ZY7-11序号3.1的图)</p>

(续)

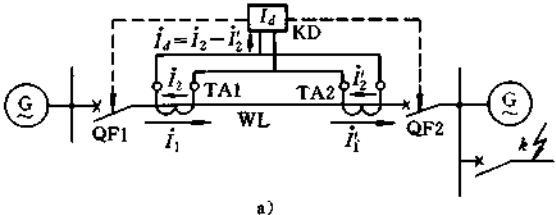
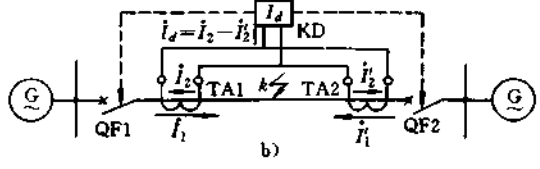
序号	项目	说明
2.3	电压速断保护的优点	电压速断保护与电流速断保护相比,突出的优点是电压速断保护的保护区无论如何不会降为零,而电流速断保护的保护区则有可能降为零,特别是在被保护的线路较短、又处在最小运行方式时。因此,当采用电流速断保护,其保护范围不满足要求时,宜改用电压速断保护
3	电流、电压联锁速断保护简介	
3.1	采用电流、电压联锁速断保护的原因	由于电流速断保护在最大运行方式时保护范围最大、最小运行方式时保护范围最小,而电压速断保护在最大运行方式时保护范围最小、最小运行方式时保护范围最大,因此互相取长补短,采用电流、电压联锁速断保护,以便在处于最大、最小两种运行方式之间的通常运行情况下获得较大的保护范围,最小保护范围要求不小于线路全长的 15%
3.2	电流、电压联锁的速断保护的接线和原理	 <p>QF—断路器 YR—熔断线圈 TA—电流互感器 TV—电压互感器 KA—电流继电器 (DL 型) KV—电压继电器 (DY 型) KS—信号继电器 (DX 型) KM—中间继电器 (DZ 型)</p> <p>当线路发生短路,满足电流、电压元件动作条件时,KA、KV就动作,接通KS和KM,使线路断路器QF跳闸,KS并发出信号</p> <p>这种电流、电压联锁的速断保护较之单一的电流速断或电压速断保护的灵敏度高,保护范围大</p>

6. 方向过电流保护 如表 ZY7-13 所示。

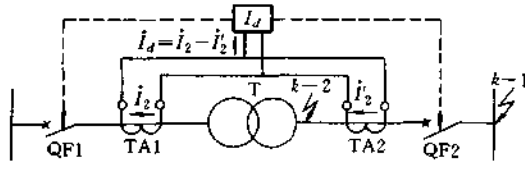
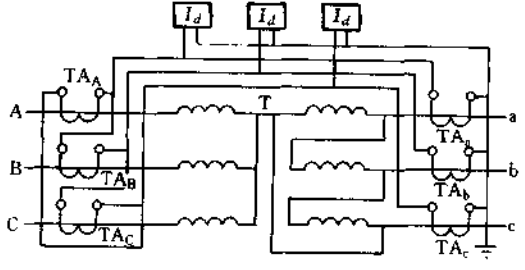
表 ZY7-13 方向过电流保护

序号	项目	说明
1	方向过电流保护的基本概念	<p>方向过电流保护装置装设于两侧供电的线路上,如下图所示。图中□内箭头指向表示方向过电流保护装置动作的电流方向</p> <p>在两侧供电线路上发生短路时,两侧电源均向短路点供给短路电流。为保证动作选择性,过电流保护的动作为必须有方向判断,而且应满足动作时间的“阶梯原则”。例如图中k点短路,左侧的过电流保护装置1和3应起动,而动作时间$t_2 < t_1$,因此保护装置3应首先动作,使断路器QF3跳闸;同时右侧的过电流保护装置4和6应起动,而动作时间$t_4 < t_6$,因此保护装置4应首先动作,使断路器QF4跳闸,从而切除了短路故障,使其它线路恢复正常运行</p>

表 ZY7-14 纵联差动保护

序号	项目	说明
1	线路的纵联差动保护	
1.1	线路纵联差动保护的接线和原理	 <p>a)</p> <p>WL—被保护线路 TA—电流互感器 KD—差动保护继电器</p> <p>单相原理接线如图 a 所示。在线路正常运行或在保护区外部短路时 (如图 a 中 k 点短路), 电流互感器 TA1 和 TA2 的一次和二次电流如图 a 所示。流入继电器 KD 的电流 $I_d = I_2 - I'_2$, 因此 KD 称为“差动继电器”, 实质上是一种电流继电器, 如果略去线路的电容电流, 则 $I_1 = I'_1$。如果 TA1 与 TA2 的型号、规格、性能和接线完全相同, 则 $I_2 = I'_2$。这时流过 KD 的 $I_d = 0$。但实际上, TA1 和 TA2 的性能不可能完全一样, 因此 I_d 不完全为零, 这不为零的 I_d 称为“不平衡电流” (disequilibrium current), 用 I_{dq} 表示。KD 中流过 I_{dq} 时不会动作, 因此 QF1、QF2 不致误跳闸</p>  <p>b)</p> <p>当被保护的区域内发生短路时 (如图 b 中 k 点短路), 电流互感器 TA1 和 TA2 的一次和二次电流如图 b 所示。流过 KD 的 $I_d = I_2 + I'_2$, 达到和超过 KD 的动作电流 I_{op}, 因此 KD 动作, 使两侧的断路器 QF1 和 QF2 跳闸, 切除短路故障 (注: 如线路为单侧供电, 则 $I'_1 = 0, I'_2 = 0, I_d = I_2$)</p>
1.2	纵联差动保护动作电流的整定	<p>其动作电流的整定原则: ①动作电流 $I_{op(a)}$ 应躲过外部短路的最大不平衡电流 $I_{dq \cdot max}$; ②动作电流 $I_{op(a)}$ 应躲过差动保护任一互感器二次回路断线时流过差动继电器的最大负荷电流</p>
1.3	纵联差动保护的灵敏度	<p>纵联差动保护的灵敏度, 按单侧供电情况下保护区末端短路时的最小短路电流与保护装置动作电流 (换算到一次电路之值) 之比来检验。按 GB50062—92 规定, 保护的灵敏系数不应小于 2 (参看表 ZY7-3)。如达不到要求, 应设法减小不平衡电流和动作电流</p>
1.4	纵联差动保护的优缺点及适用范围	<p>线路纵联差动保护具有灵敏度高、实施简单和工作可靠等优点, 但是保护需要沿被保护线路敷设保护用的辅助导线, 且此导线截面不能很小, 否则会使电流互感器的负荷过大, 因此线路不能太长, 不然实施起来比较困难, 而且很不经济</p> <p>按 GB50062—92 规定, 线路纵联差动保护的适用范围为:</p> <p>3~10kV 线路 (双侧供电), 长度不超过 1~2km</p> <p>35~63kV 线路 (双侧供电), 长度不超过 3~4km</p>
2	电力变压器的纵联差动保护	
2.1	变压器纵联差动保护的原理接线和原理	<p>双绕组变压器的纵联差动保护单相原理接线如下图所示。</p>

(续)

序号	项目	说明
2.1	变压器纵联差动保护的原理接线和原理	 <p>T—电力变压器 TA—电流互感器 KD—差动保护继电器</p> <p>在变压器正常运行或在保护区外部(如k-1点)短路时,电流互感器TA1和TA2的二次电流的差流 $I_d = I_2 - I'_2 = 0$,继电器KD不会动作。实际上流过KD的差流由于变压器两侧互感器的结线和变比配合及互感器结构性能的差异等关系,不可能为零,因此存在一个不平衡电流 I_{dq}。不过在设计 and 安装时,应尽量减小 I_{dq}。这 I_{dq}的存在应不致使KD误动作。当被保护的区域内发生短路时(如k-2点),这时 $I_d = I_2$,将使继电器KD动作,从而使变压器两侧断路器QF1和QF2跳闸,切除短路故障。</p>
2.2	Yd11联结的变压器采用的补偿相位差的纵联差动保护原理接线	<p>由于Yd11(Υ/Δ-11)联结的变压器的两侧电流有30°相位差,因此两侧电流互感器采用如下图所示的补偿相位差的接线,以使两侧互感器二次电流 I_2 与 I'_2 相位一致</p>  <p>T—电力变压器 TA—电流互感器 KD—差动保护继电器</p>
2.3	变压器纵联差动保护动作电流的整定	<p>变压器差动保护的差动继电器动作电流整定原则为:</p> <p>①动作电流 $I_{op(d)}$应躲过外部故障时的最大不平衡电流 $I_{dq \cdot max}$,一般取:</p> $I_{op(d)} \geq 1.3 I_{dq \cdot max}$ <p>②动作电流 $I_{op(d)}$应躲过变压器空载投入或突然加上电压时的励磁涌流</p> <p>过去规定动作电流还应躲过差动保护任一互感器二次回路断线时流过差动继电器的最大负荷电流。现GB50062—92规定,为了使纵联差动保护能保护变压器内部的匝间短路,降低差动保护的整定值,提高保护的灵敏度,差动保护的動作电流可不考虑互感器二次回路断线的情况</p>
2.4	变压器差动保护的灵敏度	<p>按差动保护区域内的最小短路电流(一般取变压器二次侧的两相短路电流)与动作电流之比来检验,要求 $S_p \geq 2$</p>
2.5	变压器纵联差动保护的适用范围	<p>①10000kV·A及以上的单独运行变压器和6300kV·A及以上的并列运行变压器,应装设</p> <p>②6300kV·A及以下单独运行的重要变压器,可装设</p> <p>③2000kV·A及以上的变压器,当电流速断保护灵敏度不满足要求时,宜装设(据GB50062—92规定)</p>

(续)

序号	项目	说明
3	高压电动机的纵联差动保护	
3.1	高压电动机纵联差动保护的接线	<p>M—高压电动机 TA—电流互感器 KA—电流继电器 (DL-11型) KM—中间继电器 (DZ型) KS—信号继电器 (DX型) YR—断路器 QF 的跳闸线圈</p>
3.2	高压电动机差动保护动作电流的整定	<p>其动作电流按躲过电动机额定电流 $I_{N \cdot M}$ 来整定。整定计算公式为</p> $I_{op(d)} = \frac{K_{rel}}{K_i} I_{N \cdot M}$ <p>式中, K_{rel} 为可靠系数, 对 DL 型电流继电器取 1.5~2; K_i 为电流互感器变流比</p>
3.3	差动保护的灵敏度	按最小运行方式时电动机出口两相短路来检验, $S_p \geq 2$
3.4	适用范围	按 GB50062—92 规定: 2000kW 及以上高压电动机, 或 2000kW 以下但采用电流速断保护灵敏度达不到要求的高压电动机, 应装设纵联差动保护

8. 横联差动保护 如表 ZY7-15 所示。

表 ZY7-15 横联差动保护

序号	项目	说明
1	共用一断路器的并行线路横联差动保护	
1.1	单相原理接线	<p>QF—断路器 WL1、WL2—并行线路 TA—电流互感器 KD—差动保护继电器</p>
1.2	基本工作原理	<p>由于两并行线路的阻抗相等, 因此正常运行及发生穿越性短路 (如 $k-1$ 点短路) 时, 通过两线路的电流相等, 即 $I_1 = I_2$。反应两电流差的继电器 KD 不会动作</p> <p>当并行线路之一发生短路 (如 $k-2$ 点短路) 时, 则 I_1 与 I_2 不再相等, 因此继电器 KD 中就有两电流差通过, 从而动作, 使断路器 QF 跳闸, 切除两线路。在查明故障线路以后, 另一完好线路可在减除一部分不重要负荷的条件下恢复运行</p>

(续)

序号	项目	说明
1.3	“死区”及弥补	如在一线路的靠近末端的部位短路,由于这时的线路电流 I_1 与 I_2 相差不大,因此 KD 不会动作,从而出现了“死区” 按 GB50062—92 规定:“应以接于两回线电流之和的阶段式保护或距离保护作为两回线同时运行的后备保护及一回线断开后的主保护及后备保护”
2	各具断路器的并行线路横联差动方向保护	
2.1	单相原理接线	<p>QF—断路器 WL1、WL2—并行线路 TA—电流互感器 KA—电流继电器 KP—功率方向继电器</p>
2.2	基本工作原理	两并行运行线路在正常运行及发生穿越性短路(如 $k-1$ 点短路)时,通过两线路的电流相等,即 $I_1=I_2$,因此保护装置 KA 及 KP1 和 KP2 等不会动作 当并行线路之一发生短路(如 $k-2$ 点短路)时,则 I_1 与 I_2 不再相等 ($I_2>I_1$),使电流继电器 KA 动作,同时功率方向继电器 KP2 动作,使 WL2 线路的断路器 QF2 跳闸,对侧的差动方向保护(与左边保护相对应)也动作,使 WL2 线路的另一侧断路器 QF4 跳闸,从而将短路故障($k-2$ 点)切除,而完好线路 WL1 恢复正常运行
2.3	“死区”及其弥补	与本表序号 1 所讲并行线路横联差动保护一样,各具断路器的并行线路横联差动方向保护也具有“死区”,需按规定装设后备保护进行弥补

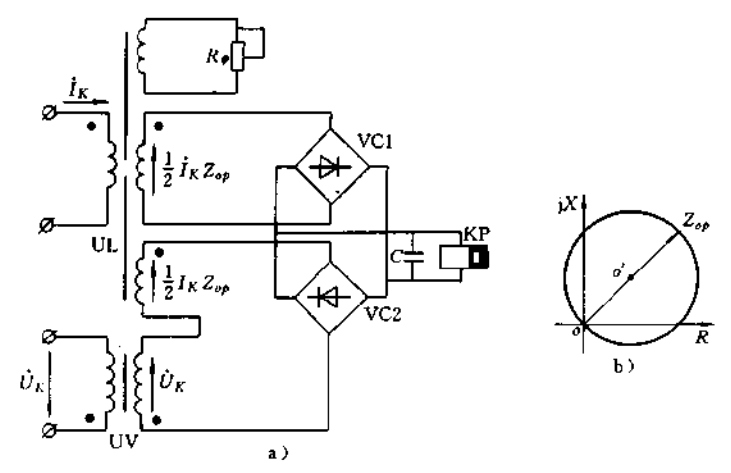
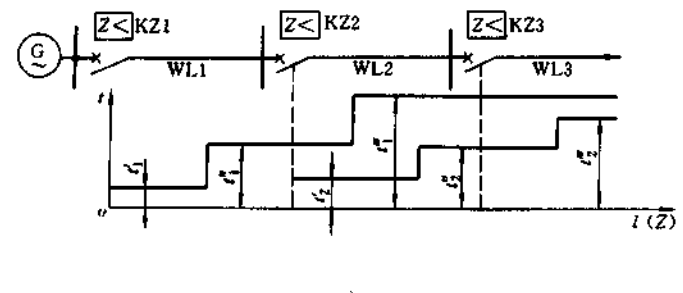
9. 线路的距离保护 如表 ZY7-16 所示。

表 ZY7-16 线路的距离保护

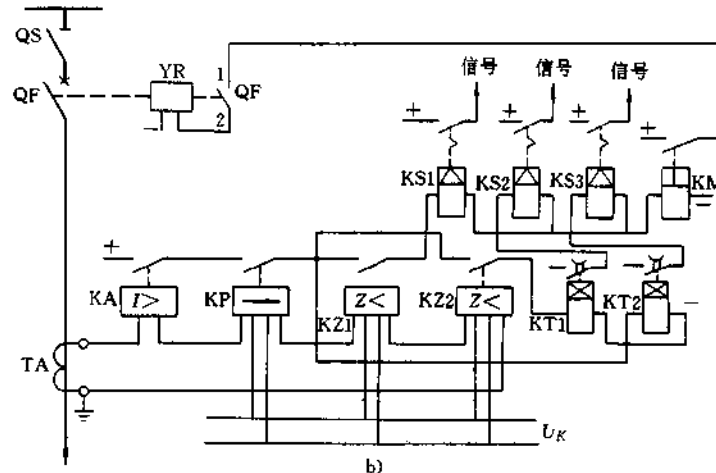
序号	项目	说明
1	距离保护的基本概念	距离保护是反应保护装置安装地点至短路故障点的“距离”(阻抗)并根据距离的远近而确定是否动作和动作时间的一种保护装置。它通过阻抗继电器来测量保护安装地点的线路电压 U_K 与线路电流 I_K 的比值来测量故障点至保护安装地点的阻抗 Z_K , 即 $Z_K = U_K / I_K$ 当测量阻抗 Z_K 小于阻抗继电器的整定值 Z_{op} 时,阻抗继电器就动作。因此距离保护也称为“阻抗保护” 由于距离保护的测量阻抗 Z_K 不随系统运行方式而改变,与短路电流大小无关,因此在采用电流、电压保护不能满足保护的选择性、速动性和灵敏度的线路上,可采用距离保护
2	整流型阻抗继电器的接线和原理	整流型阻抗继电器的原理接线如图 a 所示

(续)

序号	项目	说明
2	整流型阻抗继电器的结线和原理	<div style="text-align: center;"> </div> <p>UV—电压变换器 UL—电抗变换器 VC—整流器 KP—极化继电器 (执行元件)</p> <p>从一次电路电压互感器二次侧来的电压 U_K, 经电压变换器 UV 和整流桥 VC1 变换为直流 I_1 后, 加到执行元件极化继电器 KP 上; 而从一次电路电流互感器二次侧来的电流 I_K, 经电抗变换器 UL 和整流桥 VC2 变换为 I_2 后, 也加到极化继电器 KP 上。由图 a 可知, 极化继电器 KP 中的电流 $I_{KP} = I_2 - I_1$。如果 I_{KP} 为图 a 所示方向时, KP 动作, 则 I_{KP} 反向时, KP 就不动作</p> <p>由图 a 可知, 整流桥 VC1 的输出电压为 $|K_u U_K|$, K_u 为 UV 的电压比, 是一实数。整流桥 VC2 的输出电压为 $|K_i I_K|$, K_i 为 UL 的变换比, 具有阻抗的性质, 因此为一复数。如果 $|K_u U_K| < |K_i I_K|$ 时, 继电器 KP 动作, 则 $|K_u U_K| > |K_i I_K|$ 时, KP 就不动作; 而当 $|K_u U_K| = |K_i I_K|$ 时, KP 就处在动作的临界状态</p> <p>由继电器 KP 动作的关系式 $|K_u U_K| \leq |K_i I_K|$ 可得</p> $\left| \frac{U_K}{I_K} \right| \leq \left| \frac{K_i}{K_u} \right|$ <p>式中, $U_K/I_K = Z_K$, 而令 $K_i/K_u = Z_{op}$ 为继电器的整定阻抗 (动作阻抗)。因此阻抗继电器动作的条件为</p> $|Z_K| \leq |Z_{op}|$ <p>即继电器的测量阻抗 |Z_K| 值小于继电器的整定阻抗 |Z_{op}| 值时, 阻抗继电器就动作, 否则就不动作。这种阻抗继电器只反应测量阻抗的大小, 不反应其阻抗角, 因此称为“全阻抗继电器”</p> <p>阻抗继电器的动作特性可用一个 $R-jX$ 的复数平面坐标来表示, 如图 b 所示。全阻抗继电器的动作特性为一个圆, 圆心 (即被保护线路的始端) 在坐标原点, 半径为整定阻抗 Z_{op}。如果测量阻抗 Z_K 在圆内, 则阻抗继电器动作; 如果 Z_K 在圆外, 则阻抗继电器不动作。全阻抗继电器没有方向性</p>
3	整流型方向阻抗继电器的结线和原理	<p>整流型方向阻抗继电器的原理结线如图 a 所示</p> <p>由图 a 可知, 加在极化继电器 KP 上有下列两个电压, 并进行绝对值的比较</p> $|U_1| = \left| \frac{1}{2} I_K Z_{op} \right|$ $|U_2| = \left| U_K - \frac{1}{2} I_K Z_{op} \right|$ <p>如果 $|U_2| \leq |U_1|$ 时继电器动作, 则 $|U_2| > |U_1|$ 时继电器不动作。因此继电器动作的条件为</p> $\left| U_K - \frac{1}{2} I_K Z_{op} \right| \leq \left| \frac{1}{2} I_K Z_{op} \right|$

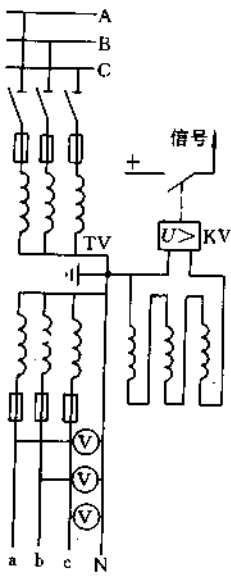
序号	项目	说明
3	整流型方向阻抗继电器的接线和原理	 <p>UL—电抗变换器 UV—电压变换器 VC—整流器 KP—极化继电器 (执行元件) R_p—最大灵敏角调节电阻</p> <p>整理后为 $\left| \frac{U_K}{I_K} \right| \leq |Z_{op}|$ 即 $|Z_K| \leq |Z_{op}|$</p> <p>方向阻抗继电器的动作特性亦可用一复数平面坐标来表示,如图 b 所示。此特性圆的圆周通过坐标原点,圆的直径为整定阻抗 Z_{op}。圆内为动作区,圆外为不动作区</p> <p>如果被保护线路的反方向发生短路(双侧电源供电时),Z_K 将在第 III 象限,继电器不动作。因此这种阻抗继电器既能测量阻抗,又能判断短路方向,能按规定的方向动作(通常规定短路电流由母线流向线路时为动作方向)</p>
4	三段式距离保护的原理接线和组成元件	<p>“三段式”是指保护装置的動作时限分为瞬时、短延时和长延时三个时间段,如图 a 所示</p>  <p>三段式距离保护的单相原理接线如图 b 所示 此保护由下列元件组成: ①起动元件:其功能是在一次电路发生短路时,瞬时起动保护装置。一般采用电流继电器 KA 作起动元件 ②测量元件:其功能是测量故障点至保护装置安装点的距离。一般采用阻抗继电器 KZ 作测量元件</p>

(续)

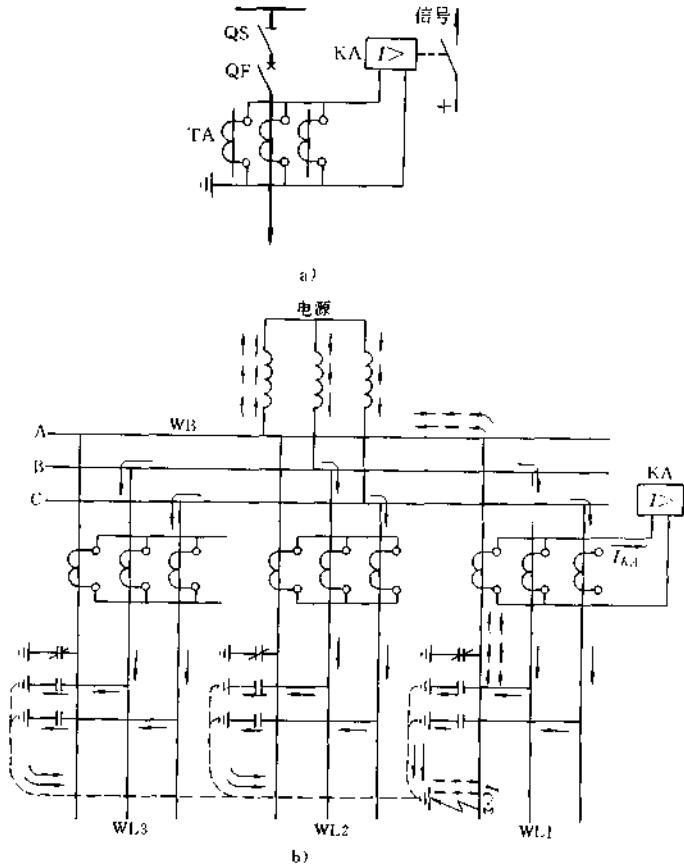
序号	项目	说明
4	三段式距离保护的原理接线和组成元件	 <p>③时限元件：其功能是实现距离保护第Ⅰ段短延时和第Ⅱ段长延时。一般采用时间继电器KT作时限元件</p> <p>④方向元件：其功能是判别短路电流的方向。可采用普通的功率方向继电器KP，也可采用方向阻抗继电器，既作方向元件，又作阻抗测量元件</p> <p>⑤其它元件，包括信号元件KS、出口元件KM，有的还有闭锁元件（图b上未示出）</p>
5	三段式距离保护的動作要求	<p>①在保护区内发生短路时，电流继电器KA（起动元件）和功率方向继电器KP（或方向阻抗继电器）瞬时动作</p> <p>②距离保护第Ⅰ段是瞬时保护，不经时限元件。第Ⅰ段的整定阻抗为</p> $Z_{op(1)} = K_{rel} Z_{WL1}$ <p>式中，K_{rel}为可靠系数，取0.8~0.85；Z_{WL1}为被保护线路WL1全长的阻抗 由此整定阻抗可知，距离保护第Ⅰ段的保护范围约为全线路的80%~85%</p> <p>③距离保护第Ⅱ段是短延时保护，动作时间$t_2 = 0.5 \sim 0.6s$。整定阻抗由下式决定</p> $Z_{op(2)} = 0.8 [Z_{WL1} + (0.8 \sim 0.85) Z_{WL2}]$ <p>式中，Z_{WL2}为相邻的WL2线路全长的阻抗 由此可知，距离保护第Ⅱ段的保护范围除包括本线路WL1的全长外，并延伸到相邻的WL2线路距离保护Ⅰ段（瞬时段）的保护范围内</p> <p>④距离保护第Ⅲ段，本表序号4图b采用定时限方向过电流保护。实际应用中，第Ⅲ段可采用全阻抗继电器作为测量元件。如灵敏度不满足要求，也可采用方向阻抗继电器</p>
6	距离保护的适用范围	<p>距离保护的最大优点是其保护的Ⅰ段基本上不受系统运行方式的影响，保护灵敏度比电流、电压保护都高，在110kV及以上系统中普遍装设。对35~66kV线路，当采用电流电压保护不能满足选择性、速动性和灵敏度的要求时，可采用距离保护</p>

10. 电网的接地保护 电源中性点直接接地的系统（大接地电流系统）发生单相接地，即形成单相短路，可由三相三继电器的完全星形结线的过电流保护进行保护，动作于跳闸，切除短路故障。而电源中性点非直接接地的系统（小接地电流系统）发生单相接地，并不形成短路，但其非故障相的对地电压要升高容易发展为两相接地短路，因此需装设单相接地保护，使之动作于信号，以便让运行人员及时采取措施予以消除。小接地电流系统的单相接地保护，如表ZY7-17所示。

表 ZY7-17 小接地电流系统的单相接地保护

序号	项目	说明
1	绝缘监察装置 (接地监视装置)	
1.1	绝缘监察装置的接线和原理	<p>利用装于变配电所母线上的三相五芯柱式电压互感器或三个单相三绕组电压互感器, 接成如图所示电路, 可对同一母线的各条线路对地绝缘 (单相接地故障) 进行监视</p> <p>在系统正常运行时, 三相电压对称, 因此三个测相电压的电压表读数基本相同, 电压互感器开口三角形绕组出口电压为零, 电压继电器不会动作</p> <p>当系统中发生单相接地故障时, 则故障相对地电压为零, 因此该相电压表指零, 而其它两相电压表读数将较正常电压升高 $\sqrt{3}$ 倍, 而电压互感器开口三角形绕组的出口将出现近 100V 的电压, 使电压继电器 KV 动作, 接通信号回路, 发出接地故障信号</p> 
1.2	电压继电器的动作电压整定	电压继电器的动作电压 $U_{op} \approx 15 \sim 20V$, 并在投入运行后校验能否躲过正常运行时系统中出现的最大不平衡电压。如躲不过, 则可适当提高 U_{op} 。
1.3	适用范围	<p>①在 3~66kV 中性点非直接接地的发电厂和变配电所母线上, 应装设接地监视装置, 动作于信号 (据 GB50062—92 规定)</p> <p>②绝缘监察装置只能指示某一相线路发生了接地故障, 而不能判断是哪一线路发生了接地故障, 因此在发现了接地故障信号后, 只有采用依次断开线路的方法来寻找故障线路。所以这种绝缘监察装置只适用于出线回路数不多或装设选择性单相接地保护有困难的场合</p>
2	选择性单相接地保护 (零序电流保护)	
2.1	架空线路的单相接地保护的接线和原理	<p>一般采用由三个电流互感器组成的零序电流过滤器的接线方式, 如图 a 所示。系统正常运行时, 由于三相电流基本对称, 因此继电器电流 $I_{KA} \approx 0$, 继电器不动作。当系统发生单相接地故障时, 这时故障线路的总接地电流 I_E (含对地电容电流) 等于所有有电气联系的线路对地电容电流总和 $I_{c\Sigma}$ 减去故障线路对地电容电流 I_C, 即</p> $I_E = I_{c\Sigma} - I_C$ <p>这一电流通过零序电流过滤器反应到其二次侧, 流入继电器, 使继电器动作, 动作于信号。当危及人身和设备安全时, 则动作于跳闸</p>

(续)

序号	项目	说明
2.1	架空线路的单相接地保护的结线和原理	 <p>关于架空线路发生单相接地故障时对地电容电流的分布如图 b 所示。设线路 WL1 的 A 相发生单相接地故障, 这时 A 相的电位等于大地的电位, 因此 A 相对地电容被短接, 不存在对地电容电流, 只有 B 相和 C 相有对地电容和对地电容电流。从图 b 可以看出, 故障线路 WL1 的总接地电流为 $I_E = I_{C.2} - I_C$, 此电流即通过零序电流过滤器使零序电流保护得以动作的电流</p>
2.2	电缆线路的单相接地保护的结线和原理	<p>采用零序电流互感器的结线方式, 如图 a 所示, 这里电缆头的接地线必须穿过零序电流互感器。系统正常运行时, 由于三相电流基本对称, 三相电流和接近于零, 因此继电器电流 $I_{KA} \approx 0$, 继电器不动作。当系统发生单相接地故障时, 这时故障电缆的电缆头接地线上流过接地电流 $I_E = I_{C.2} - I_C$, 与上面序号 2.1 所述相同, $I_{C.2}$ 为所有有电气联系的线路 (包括架空线路和电缆线路) 在单相接地时的总对地电容电流, I_C 为故障电缆的对地电容电流</p> <p>电缆线路发生单相接地故障时对地电容电流的分布如图 b 所示。亦设线路 WL1 的 A 相发生单相接地故障。从图 b 可以看出, 穿过零序电流互感器 TAN1 铁心使零序电流保护动作的电流为 $I_E = I_{C.2} - I_C$</p>

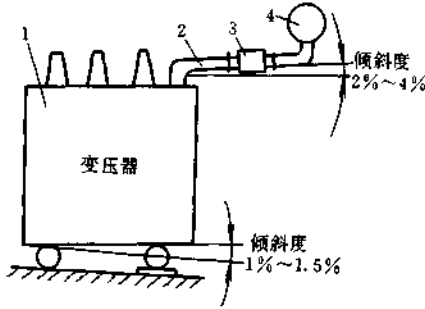
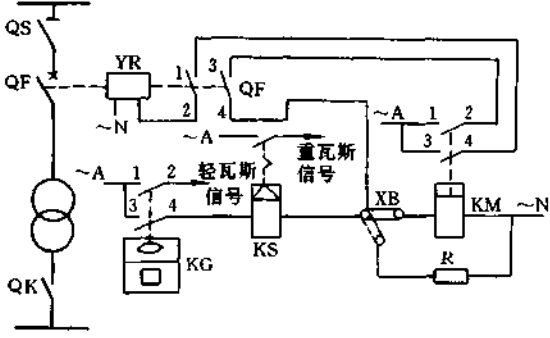
序号	项目	说明
2.2	电缆线路的单相接地保护的接线和原理	<p>a)</p> <p>1—电缆头 2—电缆 3—零序电流互感器 4—接地线</p> <p>b)</p> <p>1—电缆头 2—电缆金属外皮 3—接地线</p>
2.3	单相接地保护动作电流的整定	<p>由本表序号 2.1 图 b 和本表序号 2.2 图 b 都可以看出,当系统中某一线路发生单相接地故障时,其它非故障线路上都会出现不平衡的对地电容电流。很显然,这时非故障线路的接地保护装置不应该动作。因此单相接地保护(零序电流保护)的动作电流应躲过在其它线路上发生的单相接地故障在本线路上引起的对地电容电流 I_C。整定计算公式为</p> $I_{op(E)} = \frac{K_{rel}}{K_i} I_C$ <p>式中, K_{rel} 为可靠系数,保护装置不带时限时,取为 4~5,带一短延时 0.5s 时,取为 1.5~2; K_i 为零序电流过滤器或零序电流互感器的变流比</p> <p>式中 I_C (A) 可按下列近似公式计算</p> <p>架空线 $I_C = U_N l / 350$</p> <p>电缆 $I_C = U_N l / 10$</p> <p>式中, U_N 为线路的额定电压 (kV); l 为故障线路长度 (km)</p>

(续)

序号	项目	说明
2.3	单相接地保护动作电流的整定	按被保护线路末端在最小运行方式时发生单相接地故障来检验接地保护装置的灵敏度。 满足灵敏度的条件为 $S_p = \frac{I_{C \cdot \Sigma} - I_C}{K_t I_{op(E)}} \geq 1.25$

11. 电力变压器的瓦斯保护 瓦斯保护又称“气体继电器”，是保护油浸式电力变压器内部故障的一种基本的保护装置。在油浸式变压器的油箱内发生短路故障(包括匝间短路)时，由于绝缘油和其它绝缘材料要受热分解产生气体，因此可利用反应气体(瓦斯 gas)变化情况的瓦斯保护来作油浸变压器内部故障的保护。瓦斯保护的介绍如表 ZY7-18 所示。

表 ZY7-18 电力变压器的瓦斯保护

序号	项目	说明
1	瓦斯继电器的装设	<p>瓦斯继电器(又称“气体继电器”，其结构和工作原理参看表 ZY7-6)是瓦斯保护的基本元件，它装设在变压器油箱与油枕之间的联通管上，如图所示。为了使油箱内产生的气体能顺利地通过瓦斯继电器排往油枕，因此变压器和联通管在安装时均有一定的倾斜度，即图上标的两个百分数</p>  <p>1—变压器油箱 2—联通管 3—瓦斯继电器 4—油枕</p>
2	瓦斯保护的原理接线和工作原理	<p>油浸式电力变压器的瓦斯保护原理接线(采用交流操作)如图所示</p>  <p>T—油浸变压器 KG—瓦斯继电器 KS—信号继电器 KM—中间继电器 QF—断路器 YR—跳闸线圈 XB—连接片</p> <p>当变压器内部发生轻微故障时，瓦斯继电器的上触点 KG1-2 闭合，动作于信号，这称之为“轻瓦斯动作”</p>

(续)

序号	项目	说明															
2	瓦斯保护的原理结线和工作原理	<p>当变压器内部发生严重故障时,瓦斯继电器的下触点 KG3-4 闭合,通常是经中间继电器 KM 动作于跳闸,同时发出信号。这称之为“重瓦斯动作”。但重瓦斯动作,也可利用连接片 XB 切换位置,串接限流电阻,只动作于报警信号</p> <p>由于瓦斯继电器的下触点 KG3-4 在变压器内部发生严重故障时受油气流冲击可能有抖动(接触不稳定)的现象,因此为使断路器足够可靠地跳闸,图中结线利用中间继电器的上触点 KM1-2 来作“自保持”触点。只要瓦斯继电器下触点 KG3-4 一闭合,中间继电器就动作,并借其上触点 KM1-2 的闭合而保持其动作状态,使其下触点 KM3-4 稳定闭合,使断路器跳闸。断路器跳闸后,其辅助触头 QF1-2 断开跳闸回路,而其另一对辅助触头 QF3-4 则切断中间继电器的自保持回路,使中间继电器返回</p>															
3	瓦斯保护动作后的气体分析和处理要求	<table border="1"> <thead> <tr> <th>气体性质</th> <th>故障原因</th> <th>处理要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>无色、无臭、不可燃</td> <td>变压器油箱内含有空气</td> <td>允许继续运行</td> </tr> <tr> <td>灰白色、有剧臭、可燃</td> <td>纸质绝缘烧毁</td> <td>应立即停电检修</td> </tr> <tr> <td>黄色、难燃</td> <td>木质绝缘烧毁</td> <td>应停电检修</td> </tr> <tr> <td>深灰或黑色、易燃</td> <td>油内闪络油质炭化</td> <td>应分析油样,必要时停电检修</td> </tr> </tbody> </table>	气体性质	故障原因	处理要求	无色、无臭、不可燃	变压器油箱内含有空气	允许继续运行	灰白色、有剧臭、可燃	纸质绝缘烧毁	应立即停电检修	黄色、难燃	木质绝缘烧毁	应停电检修	深灰或黑色、易燃	油内闪络油质炭化	应分析油样,必要时停电检修
		气体性质	故障原因	处理要求													
		无色、无臭、不可燃	变压器油箱内含有空气	允许继续运行													
		灰白色、有剧臭、可燃	纸质绝缘烧毁	应立即停电检修													
黄色、难燃	木质绝缘烧毁	应停电检修															
深灰或黑色、易燃	油内闪络油质炭化	应分析油样,必要时停电检修															
4	瓦斯保护的适用范围与动作要求	<p>按 GB50062—92 规定:800kV·A 及以上的油浸式变压器和 400kV·A 及以上的车间内油浸式变压器,均应装设瓦斯保护。当壳内故障产生轻微瓦斯或油面下降时,应瞬时动作于信号;当产生大量瓦斯时,应动作于断开变压器各侧的断路器。当变压器安装处电源侧无断路器时,可作用于信号</p>															

12. 电力变压器低压侧的单相接地短路保护 如表 ZY7-19 所示。

表 ZY7-19 电力变压器低压侧的单相接地短路保护

序号	项目	说明
1	变压器低压侧单相接地短路保护方式的选择 (据 GB50062—92)	<p>400kV·A 及以上、绕组为 Yyn0 联结、低压侧中性点直接接地的变压器,对低压侧单相接地短路应选择下列保护方式,保护装置应带时限动作于跳闸:</p> <ol style="list-style-type: none"> ①利用高压侧的过电流保护时,保护装置宜采用三相式 ②接于低压侧中性线上的零序电流保护 ③接于低压侧的三相电流保护 <p>400kV·A 及以上、一次电压为 10kV 及以下,绕组为 Dyn11 联结、低压侧中性点直接接地的变压器,对低压侧单相接地短路,当灵敏性符合要求时,可利用高压侧的过电流保护,保护装置应带时限动作于跳闸</p>
2	利用高压侧的过电流保护作低压单相接地短路保护	<p>①高压侧过电流保护采用三相三继电器式结线兼作低压侧单相接地短路保护,如图 a 所示</p> <p>假设变压器低压侧 b 相发生单相接地短路,而变压器的电压比和电流互感器的变流比假设均为 1,则短路电流的分布如图 a 所示。根据对称分量法(参看表 JC6-10 序号 5),可将低压侧 b 相的单相短路电流 $I^{(1)}$ 分解为正序、负序和零序(量值均为 $I^{(1)}/3$)。由于变压器为三相三芯柱的,因此零序电流不能感应到高压侧,只有正序和负序电流才能感应到高压侧,如图 b 所示。高压侧的正序和负序分量叠加,即可得知高压侧 A 相和 C 相的短路电流均为 $I^{(1)}/3$,而 B 相为 $2I^{(1)}/3$,这些电流分别反应到继电器中去,使继电器动作。接于 B 相的继电器 KA2 流过的短路电流为低压侧单相短路电流的 2/3,灵敏度还算比较高。但这种保护多用了—个电流互感器和—个继电器(高压侧过电流保护在中性点非直接接地系统中—般只用两相两继电器式),不够经济,因此在实际中应用不多</p>

(续)

序号	项目	说明
2	利用高压侧电流保护作低压单相接地短路保护	<p>②高压侧过电流保护采用两相三继电器式接线兼作低压侧单相接地短路保护,如图c所示。</p> <p>仍假设变压器低压侧b相发生单相短路,而变压器的电压比和电流互感器的变流比仍假设均为1,则短路电流的分布如图c所示</p> <p>由图c可知,接于两相式结线的公共线上的电流继电器KA3流过的短路电流为低压侧单相短路电流的2/3,与上述三相三继电器结线的灵敏度相同,而电流互感器却少用一个,因此这种接线比较经济合理</p> <p>必须指出,高压侧采用两相一继电器的过电流保护是不能兼作低压侧单相短路保护的,如图d所示。在低压侧b相发生单相短路时,继电器KA中的电流$I_{KA}=0$,继电器根本不动作。在低压侧a相和c相发生单相短路时,继电器流过的电流也只有短路电流的1/3,灵敏度很低。因此这种接线不能用于低压侧单相短路保护</p>

(续)

序号	项目	说明
3	利用变压器零序电流保护作低压单相接地短路保护	<p>在变压器低压侧中性点引出线上装设零序电流保护, 如下图所示</p> <p>正常运行时, 变压器低压侧中性点引出线中只有正常不平衡电流 I_{d0} 通过, 继电器 KA 不动作。当低压侧发生单相短路时, 中性点引出线上流过单相短路电流 $I_0^{(1)}$ 而使继电器 KA 动作, 使高压侧断路器跳闸</p> <p>这种保护方式的动作电流按躲过低压侧最大不平衡电流 $I_{d0 \cdot \max}$ 来整定。整定计算的公式为</p> $I_{op(0)} = \frac{K_{rel} K_{d0}}{K_i} I_{2N \cdot T}$ <p>式中, $I_{2N \cdot T}$ 为变压器低压侧额定电流; K_{d0} 为不平衡系数, 一般取为 0.25 左右; K_{rel} 为可靠系数, 一般取为 1.2~1.3; K_i 为零序电流互感器的变流比</p> <p>零序过电流保护的動作时间一般取 0.5~0.7s</p> <p>零序电流保护的灵敏度, 按低压干线末端发生单相短路来检验。对架空线, $S_p \geq 1.5$; 对电缆线, $S_p \geq 1.2$</p> <p>这种保护方式, 保护灵敏度高, 但投资较多, 欠经济</p>
4	利用三相均带过流脱扣器的低压断路器作低压单相接地短路保护	<p>在变压器低压侧装设三相均带过流脱扣器的低压断路器, 该断路器, 既作低压侧总开关, 操作方便, 且便于实现自动化 (如备用电源自动投入), 又可用于保护低压侧的相间短路和单相短路, 可谓一举数得, 因此相当经济合理, 得到了广泛的应用</p>
5	在低压侧三相装设低压熔断器作低压单相接地短路保护	<p>在变压器低压侧三相装设低压熔断器, 既可保护相间短路, 又可保护单相短路, 最为经济。但熔断器不能作为控制开关使用, 而且它熔断后更换熔体需较长时间, 因此这种保护方式只适用于不重要负荷的小容量变压器</p>

13. 电力变压器的过负荷保护 如表 ZY7-20 所示。

表 ZY7-20 电力变压器的过负荷保护

序号	项目	说明
1	变压器过负荷保护的装设要求 (据 GB50062—92)	400kV·A 及以上电力变压器, 当数台并列运行或单独运行并作为其它负荷的备用电源时, 应根据可能过负荷的情况装设过负荷保护

(续)

序号	项目	说明
1	变压器过负荷保护的装设要求 (据 GB50062—92)	对三绕组变压器, 保护装置应能反应各侧过负荷的情况 过负荷保护采用单相式, 带时限动作于信号。在无经常值班人员的变电所, 过负荷保护可动作于跳闸或断开部分负荷
2	变压器过负荷保护的接线及其动作电流和时限的整定	采用一个电流互感器接一个电流继电器, 在过负荷时, 电流继电器动作, 再经时间继电器给予一定的延时, 最后接通信号继电器发出报警信号 (接线见本表序号 3 图)。对无经常值班人员的变电所, 过负荷时可动作于跳闸或断开部分负荷 过负荷保护的動作电流按躲过变压器额定一次电流 $I_{1N \cdot T}$ 来整定, 整定计算公式为 $I_{op(COL)} = \frac{1.2 \sim 1.25}{K_i} I_{1N \cdot T}$ 式中, K_i 为电流互感器的变流比 过负荷保护的動作时间按躲过允许的短时工作过负荷时间如电动机启动或自启动的时间来整定, 一般取 10~15s
3	变压器带时限过电流保护、电流速断保护与过负荷保护综合电路 (示例)	<p>图中 KA1、KA2 与 KT1、KS1、KM 组成带时限过电流保护, KA3、KA4 与 KS2、KM 组成电流速断保护, KA5 与 KT2、KS3 组成过负荷保护</p>

(五) 电力线路和设备保护装置的装设要求

1. 电力线路保护装置的装设要求 如表 ZY7-21 所示。

表 ZY7-21 电力线路保护装置的装设要求 (据 GB50062—92)

序号	项目	说明
1	线路应装设的保护类别	3~66kV 线路应装设: ①相间短路保护; ②单相接地保护; ③过负荷保护 110kV 线路应装设: ①单相接地短路保护; ②相间短路保护
2	3~10kV 线路装设相间短路保护装置的要求	①由电流继电器构成的保护装置, 应接于两相电流互感器上。同一电网的所有线路均应装在相同的两相上 ②后备保护应采用远后备方式

(续)

序号	项目	说明
2	3~10kV 线路装设相间短路保护装置的要求	<p>③当线路短路使发电厂厂用母线或重要用户母线电压低于额定电压 60% 时, 以及线路导线截面过小, 不允许带时限切除短路时, 应快速切除故障</p> <p>④当过电流保护的时限不大于 0.5~0.7s 时, 且没有上述③所列的情况, 或没有配合上的要求时, 可不装设瞬动的电流速断保护</p>
3	3~10kV 线路装设的相间短路保护装置类别要求	<p>①对单侧电源线路可装设两段过电流保护, 第一段为不带时限的电流速断保护; 第二段为带时限的过电流保护。可采用定时限或反时限特性的继电器。对单侧电源带电抗器的线路, 当其断路器不能切断电抗器前的短路时, 不应装设电流速断保护, 此时应由母线保护或其它保护切除电抗器前的故障。保护装置仅在线路的电源侧装设</p> <p>②对双侧电源线路, 可装设带方向或不带方向的电流速断和过电流保护。对 1~2km 双侧电源的短线路, 当采用上述保护不能满足选择性、灵敏性或速动性的要求时, 可采用带辅助导线的纵差保护作主保护, 并装设带方向或不带方向的电流保护作后备保护</p> <p>③对并列运行的平行线路宜装设横联差动保护作为主保护, 并应以接于两回线电流之和的电流保护, 作为两回线同时运行的后备保护及一回线断开后的主保护及后备保护</p>
4	35~66kV 线路装设的相间短路保护装置类别要求	<p>①对单侧电源线路可采用一段或两段电流速断或电流闭锁电压速断作主保护, 并应以带时限过电流保护作后备保护。当线路发生短路, 使发电厂厂用母线电压或重要用户母线电压低于额定电压的 60% 时, 应能快速切除故障</p> <p>②对双侧电源线路可装设带方向或不带方向的电流电压保护。当采用电流电压保护不能满足选择性、灵敏性和速动性要求时, 可采用距离保护装置。双侧电源或环形电网中, 不超过 3~4km 的短线路, 当采用电流电压保护不能满足要求时, 可采用带辅助导线的纵差保护作主保护, 并应以带方向或不带方向的电流电压保护作后备保护</p> <p>③对并列运行的平行线路, 可装设横联差动保护作主保护, 并应以接于两回线电流之和的阶段式保护或距离保护作为两回线同时运行的后备保护及一回线断开后的主保护及后备保护</p>
5	110kV 线路装设的相间短路保护装置类别要求	<p>①单侧电源线路应装设三相多段式电源或电流电压保护</p> <p>②双侧电源线路可装设阶段式距离保护装置</p> <p>③并列运行的平行线, 可装设相间横联差动及零序横联差动保护作主保护。后备保护可按和电流方式连接</p>
6	3~66kV 线路装设的接地保护要求	<p>①在发电厂和变电所母线上, 应装设接地监视装置, 动作于信号</p> <p>②线路上宜装设有选择性的接地保护, 并动作于信号。当危及人身和设备安全时, 保护装置应动作于跳闸</p> <p>③在出线回路数不多, 或难以装设选择性单相接地保护时, 可采用依次断开线路的方法, 寻找故障线路</p>
7	110kV 线路装设的接地短路要求	<p>①宜装设带方向或不带方向的阶段式零序电流保护</p> <p>②对某些线路, 当零序电流保护不能满足要求时, 可装设接地距离保护, 并应装设一段或二段零序电流保护作后备保护</p>
8	线路过负荷保护的装设要求	对可能经常出现过负荷的电缆线路, 应装设过负荷保护, 保护装置宜带时限动作于信号; 当危及设备安全时, 可动作于跳闸

2. 电力变压器保护装置的装设要求 如表 ZY7-22 所示。

表 ZY7-22 电力变压器保护装置的装设要求 (据 GB50062—92)

序号	项目	说明
1	电力变压器应装设的保护类别	①绕组及其引出线的相间短路保护及在中性点直接接地侧的单相接地短路保护 ②绕组的匝间短路保护 ③外部相间短路引起的过电流保护 ④中性点直接接地电力网中外部接地短路引起的过电流保护及中性点过电压保护 ⑤过负荷保护 ⑥油面降低的保护 ⑦变压器温度升高或油箱压力升高或冷却系统故障等的保护
2	油浸式变压器瓦斯保护的装设要求	①800kV·A 及以上的油浸式变压器和 400kV·A 及以上的车间内油浸式变压器, 均应装设瓦斯保护 ②当壳内故障产生轻微瓦斯或油面下降时, 应瞬时动作于信号 ③当壳内产生大量瓦斯时, 应动作于断开变压器各侧断路器。当变压器安装处电源侧无断路器或短路开关时, 可作用于信号
3	变压器引出线、套管及内部的短路故障保护装设要求	①10000kV·A 及以上的单独运行变压器和 6300kV·A 及以上的并列运行变压器, 应装设纵联差动保护。6300kV·A 及以下单独运行的重要变压器, 亦可装设纵联差动保护 ②10000kV·A 以下的变压器可装设电流速断保护和过电流保护。2000kV·A 及以上的变压器, 当电流速断灵敏系数不符合要求时, 宜装设纵联差动保护 ③400kV·A 及以上、一次电压为 10kV 及以下、绕组为三角形-星形联结的变压器, 可采用两相三继电器式的过电流保护 ④上述各项保护装置均应动作于断开变压器的各侧断路器
4	变压器外部相间短路保护的装设要求	①过电流保护宜用于降压变压器。保护装置应带时限动作于跳闸 ②双绕组变压器, 保护装置应装于主电源侧。根据主结线情况, 保护装置可带一段或两段时限, 以较短的时限动作于缩小故障影响范围, 以较长的时限动作于断开变压器各侧断路器 ③三绕组变压器, 宜装于主电源侧及主负荷侧。主电源侧的保护应带两段时限, 以较短的时限断开未装设保护侧的断路器。当不符合灵敏性要求时, 可在所有各侧装设保护装置。各侧保护装置应根据选择性的要求装设方向元件 ④三绕组变压器的外部相间短路保护, 可按以下原则进行简化: a. 除主电源侧外, 其它各侧保护可仅作本侧相邻电力设备和线路的后备保护; b. 保护装置用作本侧相邻电力设备和线路的后备保护时, 灵敏系数可适当降低, 但对本侧母线上的各类短路应符合灵敏性要求
5	变压器低压侧单相接地短路保护的装设要求	参看表 ZY7-19 序号 1
6	变压器过负荷保护的装设要求	参看表 ZY7-20 序号 1

3. 电力电容器保护装置的装设要求 如表 ZY7-23 所示。

表 ZY7-23 电力电容器保护装置的装设要求 (据 GB50062—92)

序号	项目	说明
1	3kV 及以上并联补偿电容器应装设的保护类别	①电容器内部故障及其引出线短路的保护 ②电容器组与断路器之间连接线短路的保护 ③电容器组中某一故障电容器切除后所引起的过电压保护

(续)

序号	项目	说明
1	3kV及以上并联补偿电容器应装设的保护类别	④电容器组的单相接地保护 ⑤电容器组的过电压保护 ⑥电容器所连接的母线失压保护
2	对电容器组与断路器之间连接线短路保护的装设要求	①可装设带有短时限的电流速断和过电流保护, 动作于跳闸 ②速断保护的動作电流, 应按最小运行方式下, 电容器端部引线发生两相短路时, 有足够的灵敏系数整定 ③过电流保护的動作电流, 应按躲过电容器组长期允许的最大工作电流整定
3	对电容器内部故障及其引出线短路的保护要求	每台电容器宜分别装设专用的熔断器。熔丝的额定电流可为电容器额定电流的1.5~2倍
4	电容器组过电压保护的要求	①单星形结线的电容器组可采用中性线对地电压不平衡保护 ②多段串联单星形结线的电容器组, 亦可采用段间电压差动或桥式差动电流保护 ③双星形结线的电容器组, 可采用中性线不平衡电压或不平衡电流保护 ④电容器组在切除一定数量的故障电容器引起其端电压超过110%额定电压时, 上列保护装置应该动作, 将整组电容器断开 ⑤对电容器组的过电压应装设过电压保护, 带时限动作于信号或跳闸
5	电容器组的单相接地保护要求	①可利用电容器组所连接的母线绝缘监察装置进行监视 ②当电容器所连接的母线有引出线路时, 宜装设有选择性的接地保护, 并动作于信号。当危及人身和设备安全时, 应动作于跳闸。但安装在绝缘支架上的电容器组, 可不再装设接地保护
6	对母线失压的保护要求	应装设低电压保护, 带时限动作于信号或跳闸
7	电容器组的过负荷保护要求	对于电网中出现的高次谐波有可能导致电容器过负荷时, 宜装设过负荷保护, 带时限动作于信号或跳闸

4. 高压电动机保护装置的装设要求 如表 ZY7-24 所示。

表 ZY7-24 高压电动机保护装置的装设要求 (据 GB50062—92)

序号	项目	说明
1	高压电动机应装设的保护类别	①定子绕组相间短路保护 ②定子绕组单相接地保护 ③定子绕组过负荷保护 ④定子绕组低电压保护 ⑤同步电动机失步保护 ⑥同步电动机失磁保护 ⑦同步电动机出现非同步冲击电流保护
2	高压电动机相间短路保护的装设要求	①2000kW以下的电动机, 宜采用电流速断保护, 保护装置宜采用两相式 ②2000kW及以上的电动机, 或电流速断保护灵敏系数不符合要求的2000kW以下电动机, 应装设纵联差动保护 ③保护装置应动作于跳闸。对于具有自动灭磁装置的同步电动机, 保护装置尚应动作于灭磁
3	高压电动机单相接地保护的装设要求	①当接地电流大于5A时, 应装设有选择性的单相接地保护 ②当接地电流小于5A时, 可装设接地检测装置 ③单相接地电流为10A及以上时, 保护装置动作于跳闸; 10A以下时, 动作于跳闸或信号

七、供电系统的继电保护 (ZY7)

785

(续)

序号	项目	说明
4	高压电动机过负荷保护的装设要求	①生产过程中易发生过负荷的电动机应装设过负荷保护。保护装置应根据负荷特性,带时限作用于信号或跳闸 ②起动或自起动困难,需要防止起动或自起动时间过长的电动机,应装设过负荷保护。保护装置应动作于跳闸
5	高压电动机低电压保护的装设要求	①当电源电压短时降低或短时中断后又恢复时,需要断开的次要电动机和有备用自动投入装置的电动机,应装设低电压保护 ②根据生产过程不允许或不需要自起动的电动机,应装设低电压保护 ③在电源电压长时间消失后须从电力网中自动断开的电动机,应装设低电压保护 ④保护装置应动作于跳闸
6	高压同步电动机失步保护的装设要求	①对于重要电动机,带时限动作于再同步控制回路 ②对于不能再同步或根据生产过程不需要再同步的电动机,应带时限动作于跳闸
7	高压同步电动机失磁保护的装设要求	①对同步电动机失磁可引起母线电压严重降低时,宜装设专用失磁保护 ②失磁保护应带时限动作于跳闸
8	高压同步电动机非同步冲击保护的装设要求	①2000kW及以上以及不允许非同步冲击的同步电动机,应装设防止电源短时中断再恢复时造成非同步冲击的保护 ②保护装置应确保在电源恢复前动作。重要电动机的保护装置应作用于再同步控制回路;不能再同步或根据生产过程不需要再同步的电动机,保护装置应动作于跳闸

(六) 晶体管继电保护简介

1. 晶体管继电保护的特点与组成 如表 ZY7-25 所示。

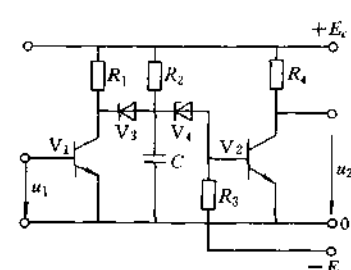
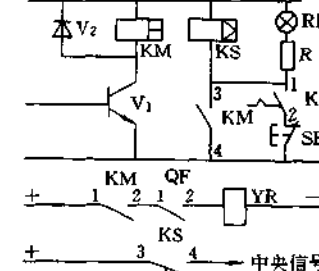
表 ZY7-25 晶体管继电保护的特点与组成

序号	项目	说明
1	晶体管继电保护的特点和发展趋向	
1.1	晶体管保护的优缺点	晶体管继电保护装置是由若干具有不同功能的晶体管电路所组成的一种继电保护装置。与传统的机电型继电保护装置相比,具有动作速度快、灵敏度高、功耗低、体积小、重量轻、调试比较简单且较易适应新的复杂保护技术等优点。但是晶体管继电保护也存在着抗干扰性差、元件较易损坏以及可能因材料和制造工艺不良而引起误动作等缺点
1.2	晶体管保护的发展趋向	晶体管继电保护装置大约是1959年最早出现的。四十年来,晶体管保护发展很快。初期是用一些由分立元件构成的晶体管单元电路来取代不同功能的继电器,现在已开始采用数字技术,单元电路也向集成化发展。虽然我国供电系统中目前仍以采用机电型继电保护为主,但随着电子技术的进一步发展和晶体管保护的不断完善,晶体管保护必将获得推广应用
2	晶体管继电保护的基本组成部分之一——测量部分	
2.1	测量部分概述	其功用是检测电力系统发生短路故障而引起的电流、电压及其相位等的变化情况,并将变化的这些量经过转换、整流和滤波,输送到晶体管逻辑回路进行判断处理 测量部分至少包括电压形成回路和整流滤波回路(或统称电压形成回路)

(续)

序号	项目	说明
2.2	其功用是将由电流互感器 TA 和电压互感器 TV 经送来的强电信号转换为晶体管保护元件所能接受的弱电信号,并使弱电部分与强电部分隔离 利用电流变换器 UA 构成电压形成回路	
	利用电压变换器 UV 构成电压形成回路	
	利用电抗变换器 UL 构成电压形成回路	<p>电抗变换器能将一次侧的输入电流按比例变换为二次侧的输出电压,其负载阻抗较大,其铁心带有可调气隙,可使 I_1 与 U_2 保持线性关系。R_p 用来改变 U_2 与 I_1 之间的转移阻抗角 φ</p>
2.3	整流滤波回路	<p>其功用是使送入保护装置逻辑回路触发器的电压变为平稳的直流电压,以免触发器出现“抖动”现象。一般要求直流电压的脉动系数不大于 5%~10%</p> <p>采用阻容滤波器,加大电容量,可减小电压的脉动系数,但也增大了滤波回路的时间常数,影响保护装置的动作和返回速度。因此,对动作和返回速度要求较快的保护装置,宜采用谐振滤波、桥式滤波或裂相整流回路</p> <p>晶体管继电保护的整流回路,多采用单相桥式整流电路,也有的采用三相桥式整流回路</p>
3	晶体管继电保护的基本组成部分之二——逻辑部分	
3.1	逻辑部分概述	<p>其功用是对前面测量部分输出的信号进行逻辑判断,确定被保护对象的工作状态是否正常,以便确定保护装置应该如何动作。逻辑部分由一些晶体管逻辑元件构成,较简单的保护一般包括单稳态触发器、时间回路、信号回路和出口回路等</p>
3.2	单稳态触发器(启动回路)	<p>触发器的功用相当于机电型继电保护装置中的起动继电器,因此触发器回路也称为“启动回路”</p>

(续)

序号	项目	说明
3.2	单稳态触发器 (起动回路)	<p>上图所示为集电极-基极耦合单稳态触发器。正常运行时, 触发器无输入信号, $u_1 = 0$, 电源电动势 $+E_c$ 经电阻 R_b、二极管 V_1 向三极管 V_3 提供偏流, 使 V_3 饱和导通, 而使三极管 V_4 可靠截止, 所以输出为高电位, 即 $u_2 \approx +E_c$。</p> <p>当被保护电路出现故障, 触发器输入电压 u_1 增大, 使 I_1 增大至保护装置整定的动作电流 I_{op} 时, V_3 的偏流减小, 使 V_3 由导通变为截止, 而使 V_4 由截止变为饱和导通, 这时输出变为低电位, $u_2 \approx 0$, 导致触发器翻转 (“翻转” 即相当机电型继电器触点的 “切换”), 使保护装置起动。</p> <p>如果逐渐减小 I_1 至保护装置的返回电流 I_r 时, V_3 又由截止变为饱和导通, 而 V_4 又由导通变为截止, 导致触发器又翻转到原始状态, 使保护装置返回。</p> <p>返回电流 I_r 与动作电流 I_{op} 的比值, 即为保护装置的返回系数。</p> <p>I_{op} 与 I_r 的差值 ΔI, 即为触发器的宽度。改变反馈电阻 R_f 的大小, 即可改变触发器的宽度和返回系数。I_{op} 可借改变 R_b 的大小进行调节。为防止触发器误动, I_{op} 不宜调节得过小, 一般为 $100 \sim 200 \mu A$。</p> <p>图中 V_1 为隔离二极管, 用来防止突然加上直流电源时保护装置误动作; V_2 为 V_3 的温度补偿和保护用二极管, 以防止反向电压击穿 V_3。</p>
3.3	时间回路	<p>时间回路有充电式和放电式两种。下图为一种充电式延时动作、瞬时返回的时间回路。</p>  <p>时间回路的功用是给予保护装置以一定的延时, 类似电磁式时间继电器的功用。</p> <p>当 $u_1 \approx 0$ 时, 三极管 V_1 饱和导通, 电容器 C 两端电压 $u_C \approx 0$, 稳压管 V_4 截止, 因此三极管 V_2 截止, 时间回路输出高电位, $u_2 \approx +E_c$。</p> <p>当 u_1 增大而使 V_1 截止时, 电容器 C 经电阻 R_2 充电, u_C 按指数规律上升, 当 u_C 上升到稳压管 V_4 击穿电压时, V_4 击穿, 则导致 V_2 饱和导通, 时间回路输出低电位, $u_2 \approx 0$。</p> <p>在上述计时过程中, 如短路故障已被切除, u_1 突然降至零, 则 V_1 将立即饱和导通, 电容器 C 上积累的电荷经 V_1 的 $c-e$ 极放电, 时间回路返回原始状态, 所以该时间回路具有延时动作和瞬时返回的特性。</p>
3.4	出口、信号回路	

(续)

序号	项目	说明
3.4	出口、信号回路	<p>其功用是使保护装置输出控制信号,接通断路器的跳闸回路,使断路器跳闸,同时接通信号装置,发出信号,相当于电磁式中间继电器和信号继电器的功用</p> <p>上图为晶体管保护常用的出口、信号回路</p> <p>当被保护电路出现故障,保护装置动作时,V₁导通而使出口中间继电器KM动作,其触点KM1-2闭合,使断路器QF跳闸(图上QF1-2为其辅助触头)。其另一对触点KM3-4闭合,起动信号继电器KS,使其触点KS1-2闭合,红色信号灯RD亮;同时其触点KS3-4闭合,接通中央信号,发出灯光和音响信号</p> <p>按钮SB用来复归信号回路。V₂为V₁的保护二极管,防止反向电压击穿V₁</p>

2. 晶体管继电保护示例 表ZY7-26为晶体管定时限过电流保护电路,表ZY7-27为晶体管反时限过电流保护电路,表ZY7-28为晶体管电流速断保护电路,表ZY7-29为晶体管低电压保护电路,表ZY7-30为晶体管纵联差动保护电路,表ZY7-31为晶体管接地保护电路。

表ZY7-26 晶体管定时限过电流保护电路(示例)

序号	项目	说明
1	保护框图	<p>来自电流互感器二次侧 → 电压形成回路 → 整流滤波回路 → 起动回路 → 时间回路 → 出口信号回路 → 跳闸、信号</p>
2	保护电路	<p>由A相电流互感器来 UA1 由C相电流互感器来 UA2</p> <p>电压形成回路 起动回路 时间回路 出口信号回路</p>
3	原理说明	<p>本电路为JXL-1型晶体管线路过电流保护的一部分</p> <p>① 电压形成及整流滤波回路:由电流变换器UA1、UA2,负载电阻R₁、R₂,桥式整流器VC1(含V₁~V₄)、VC2(含V₅~V₈),滤波电容C₁,滤波电阻R₃及定值电位器RP1等组成</p> <p>② 起动回路:由三极管V₁₉和V₂₀组成的一种单稳态触发器。RP1为电流定值电位器。保护的动电流靠改变RP1的数值来调节</p> <p>③ 时间回路:这是一种放电式时间回路,利用电容器C₃在三极管V₂₀导通时对RP2、R₁₃、V₁₃和V₂₀放电而获得延时。可借改变RP2的数值来调节动作时间</p> <p>④ 出口、信号回路:在时间回路动作后,三极管V₂₂截止,而V₂₃的基极电位由R₁₇、R₁₈和R₁₉分压为+7.7V,高于其发射极电压而饱和导通,使出口执行元件微型中间继电器动作于跳闸,并发出信号</p>

表 ZY7-27 晶体管反时限过电流保护电路 (示例)

序号	项目	说明
1	保护框图	
2	保护电路	<p>WC—控制电源小母线 WA—辅助小母线 WP—光字牌信号小母线 WRS—复归信号小母线 WTS—试验信号小母线</p>
3	原理说明	<p>本电路为 JFS-1 型晶体管反时限过电流保护的原理接线图, 用于高压电动机作过负荷保护</p> <p>①电压形成及整流滤波回路: 采用电抗变换器、桥式整流和 π 型滤波回路, 具有较好的线性及滤波特性, 且能达到在不同定值时为一条反时限特性曲线</p> <p>②起动回路: 由三极管 V_1、V_2 “施密特” 触发器构成。RP1 为电流定值电位器, 可用来调节动作电流</p> <p>③时间回路: 由 RP2、C_4 及 $V_3 \sim V_5$ 等元件构成。利用 C_4 的光电来获得反时限特性。调节 RP2 可改变特性曲线的位置, 达到时限整定的要求</p> <p>④出口、信号回路: 保护装置动作后, 出口中间继电器 KM 动作于跳闸, 信号继电器 KS 发出动作信号</p>

表 ZY7-28 晶体管电流速断保护电路 (示例)

序号	项目	说明
1	保护框图	
2	保护电路	<p>WC—控制电源小母线 WA—辅助小母线 WP—光字牌信号小母线 WRS—复归信号小母线 WTS—试验信号小母线</p>

序号	项目	说明
3	原理说明	<p>本电路为 JSD-1 型晶体管电流速断保护的接线图, 用于高压电动机作相间短路保护</p> <p>① 电压形成回路: 采用电流变换器 (中间变流器)。它具有较好的防止“电流超越”特性。“电流超越”是指电路在突然通电或断电时出现的一种较高的脉冲电压现象, 可导致速断保护越级误动作。它是由变换器电流暂态分量产生的自感电动势所引起的。如采用电抗变换器 (电抗变压器), “电流超越”严重, 因此速断保护不宜采用</p> <p>② 整流、滤波回路: 采用单相桥式整流及 Γ 型滤波器, 即简单又能满足保护要求 (触发特性好、不抖动)</p> <p>③ 起动回路: 采用由三极管 V_1、V_2 组成的直流放大器式触发器。定值电位器 RP 用来调节速断保护动作电流 (速断电流)</p> <p>④ 出口、信号回路: 由中间继电器 KM、信号继电器 KS 和信号灯 RD 组成, KM 动作于跳闸, KS 给出信号</p>

表 ZY7-29 晶体管低电压保护电路 (示例)

序号	项目	说明
1	保护框图	
2	保护电路	<p>WC—控制电源小母线 WP—光字牌信号小母线 WRS—复归信号小母线 WTS—试验信号小母线</p>

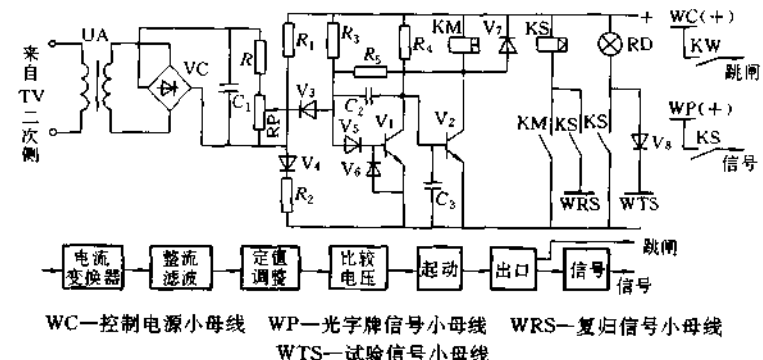
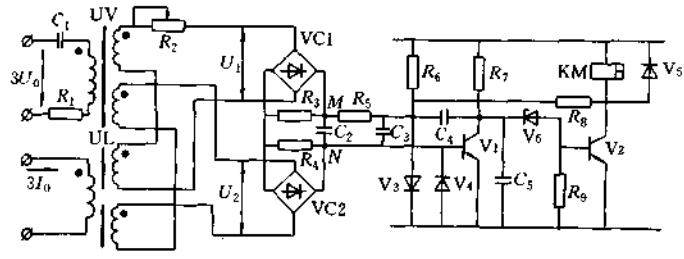
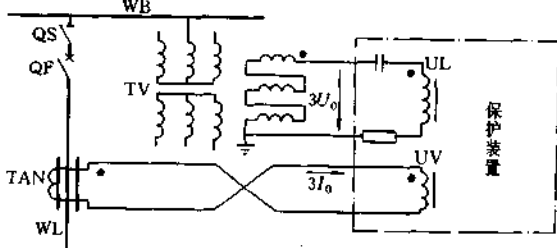
(续)

序号	项目	说 明
3	原理说明	<p>本电路为 JDY-1 型晶体管低电压保护的接线图, 用于高压电动机作低电压保护。为保证重要电动机的自启动, 在母线电压下降至 $60\% \sim 70\% U_N$ 时, 保护首先应以 $0.5s$ 的动作时间切除次要电动机; 在母线电压继续下降至 $50\% \sim 55\% U_N$ 时, 保护应以 $10s$ 的动作时间切除不允许长期失去电压再起动的电动机及有备用机组的重要电动机。本电路包括上述两段低电压保护及电压互感器断线信号装置。I 段电压整定为 $65V$, 时限可在 $0.25 \sim 0.75s$ 间调节; II 段电压整定为 $55V$, 时限可在 $6 \sim 11s$ 间调节</p> <p>① 电压形成及整流滤波回路: 由电压变换器 UV1、UV2、UV3、桥式整流器 VC1、VC2、VC3 和滤波电容 C_1、C_2、C_3 等构成</p> <p>② 启动回路: 第 I 段启动回路为由三极管 V_4、V_5 组成的直流感大器式触发器, 由电位器 RP1、RP2 和 RP3 上取得启动电压。第 II 段启动回路为由三极管 V_7、V_8 组成的触发器, 由电阻 R_4 与 R_5 的分压取得启动电压。为防止电压互感器熔断器熔断时保护装置误动作, 第 I 段启动回路中采用了由二极管 $V_{12} \sim V_{24}$ 组成的“与门”电路。只有当 RP1~RP3 引入的负电位在数值上都同时低于 V_{25} 和 R_{18} 上面的电压降 (称为“门槛电位”) 时, $V_{22} \sim V_{24}$ 都截止, 三极管 V_4 的基极电位高于其发射极电位时才能导通。如果 RP1~RP3 只有 1 个或 2 个的负电位低于“门槛电位”, 也不能改变 V_4 的截止状态。当事故情况下, 三相电压对称下降到 $65\% U_N$ 时, RP1~RP3 输出的电压逐渐升高。当 V_4 的基极电位高于发射极电位时 V_4 饱和导通, V_5 截止, 电容 C_6 开始充电。第 I 段启动回路中也采用了由 V_9、V_5、V_{17} 和 V_{18} 组成的“与门”电路。当 AC 相熔断器熔断时, 虽然 V_8 误截止, 但 V_5 仍在导通状态, 电容 C_6 被短接, 时间回路不会工作, 从而起到了闭锁作用</p> <p>③ 时间回路: 第 I 段和第 II 段均采用充电式时间回路。第 I 段的充电电容为 C_6。第 II 段的充电电容为 C_8。第 I 段通过调节 RP4 来调节时限。第 II 段时限要求长达 $10s$, 因此 V_9 的基极电阻要求高达 $1000k\Omega$ 以上。如果 V_9 的集电极直接串联继电器, 则要求 V_9 的放大倍数应超过 200 倍, 这将无法保证它工作在深度饱和状态。为此加设了由三极管 V_{10}、V_{11} 构成的两级反相器, 以改善其开关特性, 使稳压管 V_{12} 正常时稳定工作</p> <p>④ 出口、信号回路: 出口采用 JRXB-G 型小型中间继电器。当保护装置动作后, 出口继电器 KM2 除动作于跳闸外, 并启动信号继电器 KS, 发出信号 (KS 有自保持触点)</p> <p>⑤ 电压互感器断线信号装置: 其功用是在电压互感器熔断器熔断或开路时, 立即发出信号, 以便及时更换熔体, 防止失压时引起保护装置误动作。本电路引入了由 V_{13}、V_{14}、V_{15} 及 R_6、R_7、R_8、V_{16}、V_{17}、V_{18} 等元件构成的“或门”电路。正常工作时, 由 RP1~RP3 引入高于“门槛电位”的负电位, 因而三极管 V_1 的基极电位低于发射极电位而截止。当任一相 (如 A 相) 熔断器熔断或断线时, 对应于 AB、CA 相的 RP1 和 RP3 引入的电压低于“门槛电位”, 于是 V_{13}、V_{15} 截止, 三极管 V_1 则通过 R_6、R_8 及 V_{16}、V_{18} 供给基极电流而导通, 继而 V_1、V_2 触发器翻转, V_3 导通, 使继电器 KS 动作, 发出电压互感器断线信号。另外为了防止厂用母线电压发生事故性三相电压对称下降时电压互感器断线闭锁装置误动作, 又采用了“非门”元件给予闭锁。非门元件由三极管 V_4 和二极管 V_{21} 组成的反相器所构成, 与低电压 I 段触发器共用。当三相电压对称下降时, 因低电压保护启动, V_4 导通, 此时尽管电压互感器断线闭锁装置误动作, V_2 截止, 但由于 V_4 同时导通, 仍然箝制三极管 V_3 的基极电位接近于零而不致导通, 因此起了闭锁作用</p>

表 ZY7-30 晶体管单相接地保护电路 (示例)

序号	项目	说 明
1	反应稳态接地电流的单相接地保护	

(续)

序号	项目	说明
1.1	原理电路	 <p>WC—控制电源小母线 WP—光字牌信号小母线 WRS—复归信号小母线 WTS—试验信号小母线</p>
1.2	简要说明	<p>本电路为JJD-1型晶体管接地保护的原理接线, 适于出线数较多, 每条线路的电容电流远小于系统总接地电容电流的小接地电流系统</p> <p>由于单相接地故障电流的暂态分量幅值大、频率高但衰减快(半个周波即可衰减完毕), 因此在保护装置中增加了由R_4、C_3构成的充电式时间回路, 延时约30ms, 以躲过暂态电流, 防止保护误动作</p> <p>动作电流利用调节定值电位器RP来调节, 可在1~5A范围整定</p> <p>保护装置动作后, 中间继电器KM接通信号继电器KS, 发出报警信号; 必要时, 可接通跳闸回路, 使故障线路的断路器跳闸</p>
2	电流方向单相接地电流保护	
2.1	原理电路	
2.2	保护接线	
2.3	简要说明	<p>本电路为晶体管方向电流单相接地保护的原理接线, 适于出线数较少、每条线路的电容电流与系统总接地电容电流相近的小接地电流系统</p> <p>正常运行时, 由于三相平衡, 没有零序电压和零序电流, 因此保护装置无输入功率, M点与N点间电压$U_{MN} \approx 0$, 三极管V_1的基极电位高于发射极电位而饱和导通, 稳压管V_6处于截止状态, 三极管V_2亦截止, 保护装置不动作。当线路发生单相接地故障时, 故障线路由于通入正向接地电流I_E和零序电压$3U_0$, 使保护内部电气量$U_1 > U_2$, M点呈正电位, N点呈负电位, 从而使V_1截止, 电容C_5开始充电, 经整定时间达到稳压管V_6的击穿电压, V_6导通, 三极管V_2的基极获得正电位而导通, 于是出口继电器KM动作, 发出信号脉冲。而非故障线路的保护装置由于通入反向电容电流, 保护内部电气量$U_1 < U_2$, 因而M点呈负电位, N点呈正电位, 使三极管V_1的基极电位更高于发射极电位而继续保持导通, 保护不动作, 从而保证了选择性</p>

主要参考文献

- 1 刘介才编. 工厂供电 (第2版). 北京: 机械工业出版社, 1991
- 2 苏文成主编. 工厂供电 (第2版). 北京: 机械工业出版社, 1990
- 3 刘从爱, 徐中立主编. 电力工程. 北京: 机械工业出版社, 1992
- 4 刘介才主编. 工厂供电简明设计手册. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 5 北京电力器材二厂、北京电力学校合编. 晶体管继电保护基础. 北京: 水利电力出版社, 1973
- 6 国家标准 GB50062—92 电力装置的继电保护和自动装置设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1992
- 7 行业标准 JBJ6—96 机械工厂电力设计规范. 北京: 机械工业出版社, 1997
- 8 行业标准 JGJ/T16—92 民用建筑电气设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1993
- 9 国家标准 GB29001.17—83 电工名词术语. 继电器及继电保护装置. 北京: 中国标准出版社, 1984
- 10 贺天枢, 赵叔玉主编. IEC 电工电子标准术语词典. 北京: 中国标准出版社, 1992

八、供电系统的二次回路和自动装置 (ZY8)

(一) 有关二次回路和自动装置的名词术语

有关二次回路和自动装置的名词术语, 如表 ZY8-1 所示。

表 ZY8-1 有关二次回路和自动装置的名词术语

序号	名 词 术 语	含 义 说 明
1	操作电源 electric source for operation	指断路器控制、信号回路、继电保护和自动装置等二次回路所需的电源
2	浮充电 floating charge	指以一个小的电流对蓄电池组进行充电, 以补偿蓄电池组的自放电电流
3	控制开关 control switch	指用来控制开关设备或控制设备的动作 (包括发出信号、进行电连锁等) 的一种机械式开关电器 (IEC)
4	控制回路 (电路) control loop (circuit)	① 指接在用于闭合和断开操作的电路中的开关电器的所有导电部分, 但主电路除外 (IEC) ② 指控制 (操作) 开关跳、合闸的回路 (电路)
5	信号回路 (电路) signal loop (circuit)	指用来发出各种指示信号 (包括灯光信号和音响信号) 的二次回路 (电路)
6	“不对应原理” 接线 “non-correspondence principle” for connection	指利用手力操动机构的辅助触点或者利用控制开关辅助触点在“合闸”位置而断路器辅助触点在“跳闸”位置的“不对应”关系来发出事故跳闸信号的接线
7	中央信号装置 central signal device	指集中装设在变电所控制室的一套信号系统, 包括事故信号和预告信号
8	事故信号 accident signal	指表示断路器因线路发生故障而自动跳闸的信号, 其灯光信号为红色指示灯 (RD) 闪光, 其音响信号为电笛 (蜂鸣器) 发声
9	预告信号 forecast signal	指表示需提醒电气运行人员及时发现以便采取处理措施但不必立即跳闸的一类故障和不正常状态的信号。预告音响信号通常为电铃响, 以区别于事故音响信号
10	电测量仪表 electrical meter	指对电力装置回路的电力运行参数作经常测量、选择测量、记录用的仪表和作计费、技术经济分析考核管理用的计量仪表的总称
11	常用测量仪表 electrical meter in common use	只指对电力装置回路的电力运行参数作经常测量、选择测量、记录用的仪表, 不包括电度表
12	电能计量仪表 electric energy measure meter	只指对电力装置回路发电、供电、用电的技术经济考核分析和对电力用户用电量的测量、计量的仪表, 不包括电力定量器等对电力用户用电量控制管理用的仪表
13	选测系统 selected measure system	指采用一套测量仪表, 以切换设备测量多个电力装置回路运行参数的测量方式及组成

(续)

序号	名词术语	含义说明
14	电力定量器 power controller	指一种用于监控电力用户用电量的装置。装设电力定量器以后,在用户用电功率或电流超过用户与供电部门约定的最大限值时,它首先发出报警信号,提醒用户采取措施减小负荷;如果经5~15min仍超限运行,则作用于跳闸回路,切除部分或全部用电负荷
15	自动重合闸装置 auto-reclosing device (ARD)	指一种在线路上发生故障(主要针对暂时性故障)时断路器跳闸后经短时间又重新合闸恢复供电的自动装置。其汉语拼音缩写为“ZCH”
16	备用电源自动投入装置 auto-put-into device for reserve source (APD)	指一种在工作电源因故失电时使工作电源退出然后投入备用电源以恢复供电的自动装置。其汉语拼音缩写为“BZT”
17	建筑自动化系统 building automation system (BAS)	指能对建筑物或建筑群内的电力、照明、空调、防火、保安、运输、通信等设备实行集中监控和管理的一个综合自动化系统,或称“楼宇自动化系统”,简称“BAS”或“BA系统”
18	CRT	指阴极射线管(显示装置),为英文cathode ray tube (display)的缩写
19	PRT	指打印机,为英文printer的缩写
20	拓扑结构 topologic structure	指一种由节点(结点)和连线所构成的网络结构。但拓扑学所指“节点”,是每一线段(支路)的端点。由节点和支路所构成的几何图形,就称为“拓扑图”。对拓扑图的几何结构及其性质进行分析研究的理论,称为“网络拓扑学”,或称“网络图论”

(二) 常用的二次回路操作电源

1. 二次回路操作电源的类别和要求 如表 ZY8-2 所示。

表 ZY8-2 二次回路操作电源的类别和要求

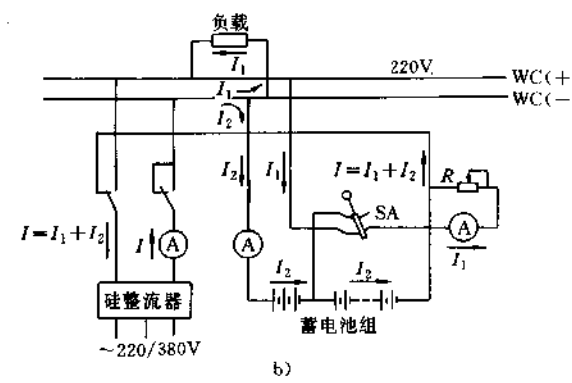
序号	项 目	说 明
1	常用的操作电源类别和特点	<p>① 由蓄电池组供电的直流操作电源,具有可靠性高和容量较大的突出优点,但投资较大,运行维护也较复杂</p> <p>② 整流操作电源,目前应用最为广泛,常用的有硅整流电容储能和带镉镍蓄电池的硅整流的两种</p> <p>③ 交流操作电源,具有简单经济、便于运行维护的突出优点,在小型变电所中应用很广</p> <p>④ 交直流混合操作电源,例如合闸采用交流操作电源,而继电保护、自动装置和跳闸采用蓄电池组供电</p>
2	对操作电源的基本要求	<p>① 供电可靠,在一次电路发生故障情况下,它也能保证二次回路正常工作</p> <p>② 有足够的容量,能够保证二次回路执行其跳、合闸的功能</p> <p>③ 其电流类别应与二次回路中控制、保护装置的电流类别要求相适应</p> <p>④ 尽可能简单经济,便于运行维护</p>

2. 常用的直流操作电源 交流操作电源已在表 ZY7-9 中较详细地予以介绍,不再重复。常用的直流操作电源,如表 ZY8-3 所示。

表 ZY8-3 常用的直流操作电源

序号	项 目	说 明
1	铅酸蓄电池组供电的直流操作电源	<p>铅酸蓄电池的正极板为二氧化铅 (PbO₂)、负极板为铅 (Pb)，电解液为稀硫酸 (H₂SO₄)，其密度为 1.20~1.29g/cm³。电池外壳用玻璃或塑料制造。固定型防酸隔爆式铅酸蓄电池的型号和技术数据参看表 ZY8-4</p> <p>放电的化学反应式为</p> $Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4 \xrightarrow{\text{放电}} 2PbSO_4 + 2H_2O$ <p>充电的化学反应式为</p> $2PbSO_4 + 2H_2O \xrightarrow{\text{充电}} PbO_2 + 2H_2SO_4 + Pb$ <p>充电终止电压为 2.7V，放电终止电压为 1.8V (按 10h 放电率)。电池额定电压为 2V。铅酸蓄电池不宜过放电和过充电</p> <p>蓄电池充好电后，即使不带负荷，随着时间的增长也会耗去一部分电量，这称为“自放电现象”。铅酸蓄电池一昼夜可因此耗去 0.5%~1% 的容量</p> <p>为了弥补自放电损耗，通常采用浮充电方式运行，即以很小的电流随时给蓄电池充电</p>
1.1	铅酸蓄电池的结构性能	
1.2	按浮充电方式运行的合闸电源的直流操作电源单母线直流系统接线图	<p>WO——合闸回路电源小母线 WC——控制回路电源小母线 WF——闪光信号电源小母线</p> <p>图 a 为常见的按浮充电方式运行的蓄电池组单母线直流系统原理接线。它采用一套硅整流设备兼作蓄电池充电及浮充电电源，并选用手动端电池调整器 SA。该系统具有以下特点</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 设有专用直流合闸小母线，以保证变电所内断路器远距离合闸的电压要求 ② 正常运行时浮充电设备可以对全部蓄电池进行浮充电，其电流通路如图 b 所示 ③ 利用手动端电池调整器 SA 的充电手柄作为合闸母线的电压调整手柄

(续)

序号	项 目	说 明
1.2	单母线直流系统结线图	 <p style="text-align: center;">b)</p>
	蓄电池容量的选择	<p>蓄电池容量按下列两个条件选择, 取其中较大者:</p> <p>① 按事故状态下持续放电容量选择</p> $Q = K_{rel} (I_L + I_L) t$ <p>式中, I_L 为经常性直流负荷电流; I_L 为事故状态下增加的直流负荷电流; t 为事故持续时间, 一般取为 1h; K_{rel} 为可靠系数, 可取 1.1</p> <p>② 按最大冲击负荷电流选择:</p> $I_{L, max} = I_L + I_L + I_{on, max}$ <p>式中, I_L 和 I_L 的含义如①; $I_{on, max}$ 为断路器最大合闸电流</p>
	蓄电池台数的选择	<p>① 蓄电池总台数按下式确定</p> $n = U_{WB} / U_{dc}$ <p>式中, U_{WB} 为直流母线正常工作电压, 取 $1.05U_N$, U_N 为直流系统额定电压, U_{dc} 为单个蓄电池事故放电末期允许的终止电压, 取 1.95V</p> <p>② 蓄电池基本台数按下式确定</p> $n_0 = U_{WB} / U_{ch}$ <p>式中, U_{ch} 为单个蓄电池充电末期终止电压, 取平均值 2.6V; U_{WB} 仍取 $1.05U_N$</p> <p>③ 端电池指用来调节母线电压的那些蓄电池, 其台数为</p> $n_{end} = n - n_0$
	充电设备的选择	<p>① 充电设备的充电电流按下式计算</p> $I_{ch} = I_L + I_{ch, max}$ <p>式中, I_L 为蓄电池组经常性直流负荷电流; $I_{ch, max}$ 为蓄电池组最大充电电流, 可取 10h 放电电流</p> <p>② 充电设备的最高电压按下式计算</p> $U_{ch} = n U_{ch, (max)}$ <p>式中, n 为蓄电池总台数; $U_{ch, (max)}$ 为单个蓄电池充电末期的最高电压, 取 2.7V</p> <p>③ 充电设备的功率按下式计算</p> $P_{ch} = U_{ch} I_{ch} = U_{ch} (I_{ch, max} + I_L)$
浮充电设备的选择	<p>① 其浮充电流按下式计算</p> $I_{ch, fl} = I_L + I_{dc, p} = I_L + 0.15 \times \frac{Q_N}{36h}$ <p>式中, I_L 为蓄电池组经常性直流负荷电流; $I_{dc, p}$ 为其自放电电流; Q_N 为所用蓄电池的额定容量 (A·h)</p> <p>② 浮充电设备的功率按下式计算</p> $P_{ch, fl} = U_{ch} I_{ch, fl}$	

272

电气工程手册

序号	项 目	说 明
1.3	按浮充电方式运行的不含合闸电源的直流操作电源	<p>上图所示为小型变电所较常用的 48V 直流操作电源的原理接线。蓄电池组仅作控制、保护和信号电源，而断路器的合闸电源则采用硅整流装置</p> <p>该系统具有以下特点：</p> <p>① 没有端电池，且蓄电池组按浮充电方式运行</p> <p>② 充电时采用较低电压，通常取每台蓄电池最高充电电压为 2.35V，直流母线最高电压为 $1.1U_N$，因此蓄电池台数为</p> $n = \frac{1.1 \times 48V}{2.35V} \approx 23$ <p>正常浮充电运行时，蓄电池端电压取 2.15V，直流母线电压为 $2.15V \times 23 = 49.5V$；放电终止电压取 1.8V，这时直流母线电压为 $1.8V \times 23 = 41.4V$</p>
2	镉镍（碱性）蓄电池组供电的直流操作电源	<p>镉镍（碱性）蓄电池组供电的直流操作电源</p>
2.1	镉镍（碱性）蓄电池的结构性能	<p>镉镍蓄电池的正极活性物质采用羟基氧化镍 (NiOOH)，负极活性物质采用海绵状镉 (Cd)，电解液为氢氧化钾 (KOH) 溶液，其密度为 $1.18 \sim 1.28g/cm^3$，电池外壳用金属或塑料制造</p> <p>镉镍蓄电池按极板结构分为有极板盒式和烧结式两种类型。前者适用于中速放电，后者可大电流放电。按电池形状又可分为长方型盒式电池 (容量 $10 \sim 500A \cdot h$)、圆筒型密封电池 (容量 $0.5 \sim 3A \cdot h$) 及钮扣式密封电池 (容量 $0.1 \sim 0.5A \cdot h$)</p> <p>镉镍蓄电池的特点是：使用寿命长 (1000~2000 充放电循环)，机械强度高 (耐冲击和耐振动)，能够处于任何方位工作，放电电压平稳，低温性能好。但其价格比铅酸蓄电池贵。全烧结式镉镍蓄电池的型号和技术数据参看表 ZY8-5</p> <p>镉镍蓄电池放电和充电的化学反应式为</p> $Cd + 2NiOOH + 2H_2O \xrightleftharpoons[充电]{放电} Cd(OH)_2 + 2Ni(OH)_2$ <p>镉镍蓄电池必须按规定要求进行充放电。正常充电，充电时间约 7h，充电电流约为电池额定容量的 1/4。快速充电，充电时间 2~4h，充电电流约为电池额定容量的 1/2。单个电池充电电压为 1.45V。其放电，通常采用 5h 或 10h 恒流放电，放电终止电压为 1.0V。电池额定电压为 1.2V</p> <p>镉镍开口式盒式蓄电池，在长期使用过程中，其电解液会吸收空气中的二氧化碳 (CO₂)，生成碳酸钾 (K₂CO₃)，影响电池的性能。因此在一定充放电循环次数 (100~200 次) 以后，应更换新的电解液 (KOH)</p>

电 工 培 训 网

(续)

序号	项目	说明
2.2	镉镍蓄电池供电的直流系统结线图	
2.3	镉镍蓄电池供电的直流系统工作说明	<p>上图所示镉镍蓄电池供电的直流系统,平时可不必浮充电运行,而是定期进行充电。如采用浮充电运行方式,应严格控制浮充电的电流和温度,不要超过允许值。下面简述其运行操作:</p> <p>① 充电:将SA4扳向右侧(充电电源侧),断开SA7,合上SA2,此时指示灯HL2亮,表示电池组已进入充电状态运行。调节充电电流,使充电电流达到规定值。此时控制、保护和信号回路仍由浮充电源供电(假设充电前此系统在浮充电状态下运行),而合闸回路应暂时断开。充电完毕以后,断开SA2,将SA4扳向左侧(浮充电源侧),再合上SA7,并接通合闸回路,恢复整个系统的正常运行</p> <p>② 浮充电:合上SA1,指示灯HL1亮,表示浮充电源已投入运行。断电监视用的电压继电器K1动作,其常闭触点断开,切断蓄电池组通向控制小母线WC的通路(此通路为单独由蓄电池组供电时使用的)。合上SA3,使直流负荷由浮充电源供电。再将SA4扳向左侧,使蓄电池进入浮充电运行状态。断开SA5,使旁路电流表A串入电池组回路,以观测浮充电流。该电流表A为一只指针在中间的电流表,指针右偏为充电电流时,指针左偏则为放电电流</p> <p>③ 放电:如交流系统断电,或SA1断开,则K1返回,其常闭触点闭合,接通蓄电池组至控制小母线的通路,使控制小母线的直流负荷全由蓄电池组供电,蓄电池组处于放电状态</p> <p>④ 控制小母线电压的调节:本方案采用5组硅二极管串联来进行调压,通过SA8来改变串入回路中的硅二极管数来达到调节控制小母线电压的目的</p> <p>⑤ 信号系统:K1为浮充电源的交流电源断电监视继电器,如前所述。K3为控制小母线的电压监视继电器。当控制小母线失电时,K3返回,其常闭触点闭合,接通继电器K2;K2的常开触点闭合,接通电铃,HA发出音响信号。按下按钮SB,音响信号即被解除</p>

(续)

序号	项目	说明
3	带电容储能的硅整流器供电的直流操作电源	
3.1	概述	正常运行时, 利用电容器的充电储能。一旦交流系统发生故障, 由硅整流器供电的直流电源母线电压严重下降或消失时, 电容器即可对继电保护和跳闸回路供电, 使其正常动作。高压断路器的合闸功率大, 可以单独使用一台硅整流器。对于不很重要的变电所, 也可以与继电保护、控制及信号系统合用一台硅整流器。

3.2 带电容储能的硅整流器供电的直流系统接线图

WC—控制回路电源小母线
WF—闪光信号电源小母线

上图为带电容储能的硅整流器供电的直流系统原理接线。整流器 I 主要用作断路器合闸电源, 兼向控制回路供电。整流器 I 的容量较小, 仅向控制回路供电。逆止元件 V_3 和限流电阻 R_1 接于两组直流母线之间, 使直流合闸母线仅能向控制母线供电, 防止断路器合闸时整流器 II 向合闸母线供电。 R_1 用来限制控制系统短路时流过 V_3 的电流, 保护 V_3 不被烧毁。储能电容器 C_1 用来供电给高压线路的保护装置和跳闸回路 (保护 I), 储能电容器 C_2 用来供电给其它元件的保护装置和跳闸回路 (保护 II)。

逆止元件 V_1 和 V_2 的主要功用: ①当直流电源电压降低时, 使电容器所储能量仅用来补偿保护回路, 不向其它元件放电; ②限制电容器所储能量向各断路器控制回路中的信号灯和重合闸继电器等放电, 它们应由信号回路供电。

(续)

序号	项 目	说 明
3.3	储能电容器的选择	<p>① 电容器所储能量应保证继电保护装置和断路器跳闸回路可靠动作 电容器所储能量 W_C ($W \cdot s$) 为</p> $W_C = \frac{1}{2} C U_{ch}^2 \times 10^{-6} \quad (1)$ <p>式中, C 为电容器的电容量 (μF); U_{ch} 为电容器充电电压 (V), 串二极管后为整流变压器二次侧峰值, 三相桥式整流为 $1.05U_N$, 单相桥式整流为 $1.57U_N$; U_N 为整流变压器二次侧额定电压 (V)</p> <p>继电器消耗能量 W_K ($W \cdot s$) 为</p> $W_K = \Delta P_K t_{op \cdot K}$ <p>式中, ΔP_K 为继电器消耗功率 (W); $t_{op \cdot K}$ 为继电保护动作时间 (s)</p> <p>跳闸线圈 YR 消耗能量 W_{YR} ($W \cdot s$) 为</p> $W_{YR} = \Delta P_{YR} t_{oc \cdot QF}$ <p>式中, $\Delta P_{YR} = U_{YR \cdot \min} I_{YR \cdot \min} = 0.7U_N \times 0.7I_N = 0.49U_N I_N$; U_N 为跳闸线圈额定电压 (V); I_N 为跳闸线圈额定电流 (A); $t_{oc \cdot QF}$ 为断路器固有断路时间 (s)</p> <p>继电保护和跳闸回路总消耗能量为</p> $W = W_K + n W_{YR} \quad (2)$ <p>式中, n 为同时跳闸的断路器台数</p> <p>根据式 (1) 和式 (2) 可得电容器的容量 C (μF) 为</p> $C = \frac{2KW}{U_{ch}^2} \times 10^{-6} = \frac{2K(W_K + n W_{YR})}{U_{ch}^2} \times 10^{-6} \quad (3)$ <p>式中, K 为电容器有效系数, 可取 $1.5 \sim 2$</p> <p>根据运行经验, 一般变电所选用三相桥式硅整流器时, 可选 $C=6000\mu F$; 选用单相桥式硅整流器时, 可选 $C=3000\mu F$。如此选择, 可保证同时有两台断路器可靠跳闸^[2]</p> <p>② 电容器放电过程中, 其电压衰减应在继电器和跳闸线圈动作电压的允许范围之内 常用的电磁式继电器和跳闸线圈的最低允许电压, 可取 $0.7U_N$。电容器放电过程中的端电压为</p> $U_C = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}$ <p>式中, U_0 为电容器放电的初始电压; R 为放电回路的等效电阻</p> <p>当 $t=t_{op \cdot K} + t_{oc \cdot QF}$ 时, 断路器恰好跳闸完毕, 此时 U_C 应不小于 $0.7U_N$, 因此</p> $t = RC \ln \frac{U_C}{U_{YR \cdot \min}} = RC \ln \frac{U_C}{0.7U_N}$ <p>由此可得电容器的容量</p> $C = \frac{t}{R \ln \frac{U_C}{0.7U_N}} \quad (4)$ <p>比较式 (3) 和式 (4) 的计算结果, 取其大者为储能电容器容量</p>

3. GF 型铅酸蓄电池和 GNG 型镉镍蓄电池的型号和技术数据 分别如表 ZY8-4 和表 ZY8-5 所示。

表 ZY8-4 GF 型铅酸蓄电池的型号和技术数据

型号 (固定型防酸式)	额定电压 /kV	单格极板 额定容量 /A·h	放电电流及容量						最大 放电 电流 /A	外形尺寸/mm				相邻蓄 电池中 心距离 /m	质量 (不带 电解液) /kg
			10h		1h		0.5h			长	宽	槽高	总高		
			放电率, 终止电压 1.8V		放电率, 终止电压 1.75V		放电率, 终止电压 1.65V								
			电流 /A	容量 /A·h	电流 /A	容量 /A·h	电流 /A	容量 /A·h							
GF-30	2	10	3	30	13.5	13.5	21	10.5	37.5	98	123	185	221	122	3.5
GF-50	2	10	5	50	22.5	22.5	35	17.5	62.5	138	123	185	221	162	4.5
GF-100	2	25	10	100	45	45	70	35	125	120	158	309	367	143	7.7
GF-150	2	25	15	150	67.5	67.5	105	52.5	187.5	157	158	309	367	180	11.5
GF-200	2	25	20	200	90	90	140	70	250	194	158	309	367	217	15
GF-250	2	50	25	250	112.5	112.5	173	87.5	312.5	162	207	474	543	185	20
GF-300	2	50	30	300	135	135	210	105	375	162	207	474	543	185	23
GF-350	2	50	35	350	157.5	157.5	245	122.5	437.5	199	207	474	543	222	26
GF-400	2	50	40	400	180	225	280	140	500	199	207	474	543	222	29
GF-450	2	50	45	450	202.5	270	315	157.5	562.5	236	207	474	543	259	33
GF-500	2	50	50	500	225	315	350	175	625	236	207	474	543	259	36
GF-600	2	100	60	600	270	360	420	210	—	159	277	650	735	182	48
GF-700	2	100	70	700	315	405	490	245	—	—	277	650	735	219	54
GF-800	2	100	80	800	360	450	560	290	—	196	277	650	735	219	60
GF-900	2	100	90	900	405	540	630	315	—	233	277	650	735	260	69
GF-1000	2	100	100	1000	450	630	700	350	—	233	277	650	735	260	71

注: 1. GF-1200~2000 型的技术数据从略

2. GF 系列蓄电池系干封出厂, 使用前需灌注规定密度的电解液, 经初次充电后, 方能投入使用。

表 ZY8-5 GNG 型镉镍蓄电池的型号和技术数据

型号 (全烧结式)	额定电压 /V	额定容量 /A·h	5h 充电率		5h 放电率 终止电压 1V		1h 放电率 终止电压 1V		高倍率(瞬 时)放电		外形尺寸/mm				质量 /kg
			电流 /A	时间 /h	电流 /A	时间 /h	电流 /A	时间 /min	电流 /A	0.3s 时 电压/V	长	宽	高	总高	
GNG5-(2)	1.2	5	1.25	7	1.25	≥4	5	≥60	60	≥0.8 ^①	55.4	24	123	—	0.295
GNG10	1.2	10	2	7	2	≥5	10	≥54	120	≥1.12	64	29	115	134	0.54
GNG10-(2)	1.2	10	2.5	7	2.5	≥4	10	≥60	120	≥0.8 ^①	80	24	155	—	0.58
GNG10-(5)	1.2	10	2.5	7	2.5	≥4	10	≥60	120	≥0.8 ^①	80	24	167	—	0.62
GNG20-(2)	1.2	20	4	7	4	≥5	20	≥54	240	≥1.06	87	40	136	152	0.86
GNG20-(3)	1.2	20	4	7	4	≥5	20	≥60	240	≥1.14	80	27.6	200	216	0.85
GNG20-(4)	1.2	20	5	6	5	≥4	20	≥60	240	≥0.8 ^①	81	32.5	242	—	1.06
GNG20-(5)	1.2	20	5	6	5	≥4	20	≥60	240	≥0.8 ^①	80	26.8	224	—	0.98
GNG20-(6)	1.2	20	5	6	5	≥4	20	≥60	240	≥0.8 ^①	81	32.5	242	—	1.06
GNG35-(2)	1.2	35	9	6	9	≥4	35	≥60	240	≥0.8 ^①	81	42	263	—	1.56
GNG40	1.2	40	8	7	8	≥5	40	≥54	480	≥1.06	103	47	197	225	1.7
GNG40-(2)	1.2	40	8	7	8	≥5	40	≥60	480	≥1.10	80	40	220	245	1.7
GNG40-(5)	1.2	40	10	6	10	≥4	40	≥60	480	≥0.8 ^①	81	42	263	—	1.78
GNG60	1.2	60	12	7	12	≥5	60	≥54	720	≥1.06	103	65	197	225	2.6
GNG80	1.2	80	16	7	16	≥5	80	≥54	800	≥1.06	135	57	230	260	3.6
GNG100	1.2	100	20	7	20	≥5	100	≥54	1000	≥1.06	135	68	230	260	4.4

① 12 倍率放电时间 1min, 终止电压为 0.8V 以上。

(三) 断路器的控制、信号回路

1. 断路器控制、信号回路的任务、分类和要求 如表 ZY8-6 所示。

表 ZY8-6 断路器控制、信号回路的任务、分类和要求

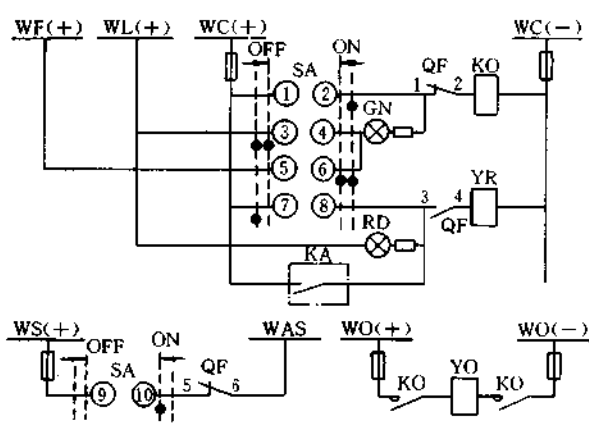
序号	项 目	说 明
1	断路器控制回路的任务和分类	断路器控制回路用来操作断路器的跳、合闸 断路器控制回路可按其操作电源的电流类别分为直流操作控制回路、交流操作控制回路和直流合闸交流跳闸控制回路等。也可直接按断路器操动机构型式分为手力操动机构的控制回路、电磁操动机构的控制回路和弹簧操动机构的控制回路等。也可按其回路完好性的监视信号类别分为灯光监视的控制回路和音响监视的控制回路
2	信号装置的任务和分类	断路器控制、信号回路中的信号装置用来指示断路器的跳合位置及一次线路和控制回路的运行状态 信号装置按用途分,有断路器位置信号、事故信号和预告信号。①断路器位置信号:用来显示断路器正常工作的位置状态。一般用红灯亮,表示断路器在合闸位置;用绿灯亮,表示断路器在跳闸位置。②事故信号:用来显示断路器在事故情况下的工作状态。一般用红灯闪光,表示断路器自动合闸;用绿灯闪光,表示断路器自动跳闸,事故信号还有事故音响信号和光字牌。③预告信号:是在一次电路和设备出现不正常状态时或故障初期所发出的报警信号,例如变压器过负荷或轻瓦斯动作时,就发出区别于事故音响信号的另一种预告音响信号,同时光字牌亮,指示出故障的性质和地点
3	对断路器控制、信号回路的主要要求	①应能监视控制回路保护装置(如熔断器)及其跳、合闸回路的完好性,以保证断路器的正常工作,通常采用灯光监视的方式 ②分闸或合闸完成后,应能使其命令脉冲解除,即能切断分闸或合闸的电源 ③应能指示断路器正常分、合闸的位置状态,并在自动合闸和自动跳闸时有明显的指示信号 ④各断路器应有事故跳闸信号,其信号回路按“不对应原理”接线(参看表 ZY8-1 序号 6) ⑤对有可能出现不正常工作状态或故障的设备,应装设预告信号

2. 断路器控制、信号回路示例 如表 ZY8-7 所示。

表 ZY8-7 断路器控制、信号回路示例

序号	项 目	说 明
1	采用手力操动机构的断路器控制、信号回路示例	
1.1	接线图	

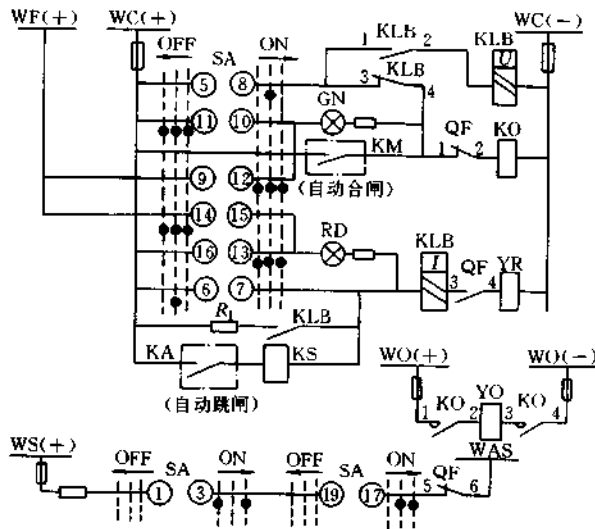
(续)

序号	项目	说明
1.2	原理说明	<p>① 手动合闸：推上操动机构手柄使断路器合闸，QF3-4 闭合，红灯 RD 亮，指示断路器在合闸位置。红灯同时起监视跳闸回路完好性的作用</p> <p>② 手动跳闸：扳下操动机构手柄使断路器跳闸，QF3-4 断开，红灯 RD 灭，并切断跳闸电源，同时 QF1-2 闭合，绿灯 GN 亮，指示断路器在跳闸位置。绿灯同时起监视本回路完好性的作用</p> <p>③ 自动跳闸：当一次电路发生短路故障时，继电保护动作，KA 触点闭合，接通跳闸线圈 YR 的回路，使断路器跳闸。随后 QF3-4 断开，红灯 RD 灭，并切断跳闸电源，同时 QF1-2 闭合，使绿灯 GN 亮。这时操动机构手柄虽还在合闸位置，但跳闸指示牌（掉牌）已掉下，表示断路器事故跳闸。同时事故信号回路接通，发出音响和灯光信号。当操作手柄扳向跳闸位置时，跳闸信号牌返回，事故信号同时停止</p>
2	采用电磁操动机构的断路器控制、信号回路示例	
2.1	结线图	 <p>WC—控制小母线 WL—灯光指示小母线 WF—闪光信号小母线 WS—信号小母线 WAS—事故音响小母线 WO—合闸小母线 SA—控制开关（双向自复式并具有保持触点的 LW5 型万能转换开关） KO—合闸接触器 YO—电磁合闸线圈 YR—跳闸线圈 KA—继电保护出口触点 QF1~6—断路器辅助触点 GN—绿色指示灯 RD—红色指示灯 ON—合闸操作方向 OFF—跳闸操作方向→指向 SA 自动返回位置</p>
2.2	原理说明	<p>① 手动合闸：将控制开关 SA 手柄顺时针扳转 45°，其触点 1-2 接通，合闸接触器 KO 通电，其主触点闭合，使电磁合闸线圈 YO 通电，断路器合闸。合闸完成后，SA 自动返回，其触点 1-2 断开，断路器辅助触点 QF1-2 也断开，绿灯 GN 灭，并切断合闸电源；同时 QF3-4 闭合，红灯 RD 亮，指示断路器在合闸位置，并监视着跳闸回路的完好性</p> <p>② 手动跳闸：将 SA 反时针扳转 45°，其触点 7-8 接通，跳闸线圈 YR 通电，使断路器跳闸。跳闸完成后，SA 自动返回，其触点 7-8 断开，断路器辅助触点 QF3-4 也断开，红灯 RD 灭，并切断跳闸电源；同时 SA 的触点 3-4 闭合，QF1-2 也闭合，绿灯 GN 亮，指示断路器在跳闸位置，并监视着合闸回路的完好性</p> <p>③ 自动跳闸：当一次电路发生短路故障时，保护装置动作，KA 触点闭合，接通跳闸线圈 YR 回路，使断路器跳闸。随后 QF3-4 断开，使红灯灭，并切断跳闸电源，同时 QF1-2 闭合，而 SA 在合闸后位置，其触点 5-6 也闭合，从而接通闪光小母线 WF (+)，使绿灯 GN 闪光，表示断路器事故跳闸。同时事故音响信号回路接通，发出音响信号。当控制开关 SA 的手柄扳向跳闸位置（反时针旋转 45°后松手让它返回）时，全部事故信号立即消除</p>

(续)

序号	项目	说明
3	采用电磁操动机构、具有“防跳”装置的断路器控制、信号回路示例	

3.1 结线图



KLB—跳跃闭锁继电器（防跳继电器）是一种具有两个线圈的中间继电器，其电流线圈为起动线圈，电压线圈为自保持线圈） SA—控制开关（采用 LW2 型万能转换开关）其余符号与序号 2.1 相同

3.2 控制开关（转换开关）触点位置表示方法

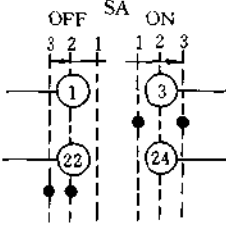
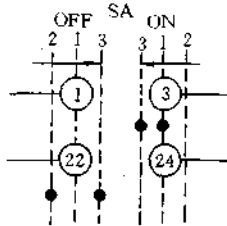
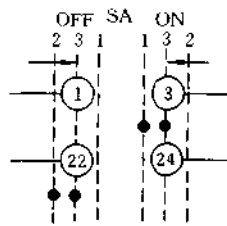
列表法

例：LW2-Z-1a. 4. 6a. 40. 20. 20/F8 型万能转换开关的触点位置图

手柄和触点盒型式	F8	1a	4	6a	40	20	20										
		1-3	2-4	5-8	6-7	9-10	9-12	10-11	13-14	14-15	13-16	17-19	17-18	18-20	21-23	21-22	22-24
跳闸后	←	×					×		×				×				×
预备合闸	↑	×			×			×					×			×	
合闸	↗		×		×					×	×				×		
合闸后	↑	×			×					×	×				×		
预备跳闸	←		×				×	×					×			×	
跳闸	↙			×		×			×				×				×

注：×表示“接通”，未标者表示“断开”

(续)

序号	项 目	说 明			
3.2	控制开关(转换开关)触点位置表示方法	图示法	<p style="text-align: center;">第一式</p> 	<p style="text-align: center;">第二式</p> 	<p style="text-align: center;">第三式</p> 
			<p>ON—合闸操作 OFF—跳闸操作 1—预备跳、合闸位置 2—跳、合闸位置 3—跳、合闸后位置 黑点(·)位置表示触点接通 箭头(→)指向SA手柄的返回位置 注:本手册的控制、信号回路图采用第一式图示法</p>		
3.3	本表序号3.1图所示断路器控制、信号回路原理说明	<p>① 手动合闸:先将控制开关SA的手柄由“跳闸后”位置旋转到“预备合闸”位置,其触点9-12接通,绿灯GN闪光。接着将SA手柄转到“合闸”位置,其触点5-8接通,使合闸接触器KO起动,其触点KO1-2、3-4闭合,合闸线圈YO通电,使断路器合闸。SA手柄松开后,返回到“合闸后”位置,其触点16-13接通,红灯RD亮,指示断路器在合闸位置,并监视着跳闸回路的完好性。由于QF1-2断开,则绿灯GN灭</p> <p>② 手动跳闸:先将SA的手柄由“合闸后”位置旋转到“预备跳闸”位置,其触点14-15接通,红灯RD闪光。接着将SA手柄转到“跳闸”位置,其触点6-7接通,跳闸线圈YR通电,使断路器跳闸。SA手柄松开后,返回到“跳闸后”位置,其触点11-10接通,绿灯GN亮,指示断路器在跳闸位置,并监视着合闸回路的完好性。由于QF3-4断开,红灯RD灭</p> <p>③ 自动合闸:断路器在跳闸位置,而自动装置的出口继电器KM触点闭合时,KO起动,KO1-2、3-4闭合,合闸线圈YO通电,使断路器合闸。由于控制开关SA手柄在“跳闸后”位置,其触点14-15接通,断路器自动合闸后,其触点QF3-4也接通,因此红灯RD闪光。由于QF1-2断开,绿灯GN灭。要使红灯不闪,可将SA手柄转到“合闸后”位置</p> <p>④ 自动跳闸:当一次电路发生短路故障时,保护装置动作,KA触点闭合,接通跳闸线圈YR回路,使断路器跳闸。由于SA手柄在“合闸后”位置,其触点9-12接通,断路器自动跳闸后,其触点QF1-2也接通,因此绿灯GN闪光。由于QF3-4断开,故红灯RD灭。要使绿灯不闪,可将SA手柄转到“跳闸后”位置</p> <p>⑤ “防跳”装置:如果控制开关SA的手柄转到“合闸”位置或其触点5-8被粘住,而断路器合闸于永久性故障的线路上时,线路上的继电保护动作,其触点KA闭合,将使断路器自动跳闸。如果没有防跳继电器KLB,则断路器因SA5-8接通,QF1-2在自动跳闸后也接通,将会再次合闸……。断路器因此而重复多次跳、合闸的现象,称为“跳跃”现象。为此,加装“防跳”用的具双线圈的中间继电器KLB。加装KLB以后,在断路器跳闸回路YR接通的同时,KLB起动,其触点KLB1-2闭合,保持KLB动作,其触点KLB3-4断开,使合闸接触器KO回路在断路器自动跳闸后其触点QF1-2闭合时也不致通电,从而不致再次合闸,保证断路器触头不会因“跳跃”而损坏</p>			
4	采用弹簧操动机构、具有“防跳”装置的断路器控制、信号回路示例				

(续)

序号	项目	说明
4.1	结线图	<p>M—操动机构储能电动机 ST—行程开关</p>
4.2	原理说明	<p>如图所示控制、信号回路的结线与本表序号 3.1 图所示的结线相似,只是弹簧操动的合闸回路与电磁操动的合闸回路不同。弹簧操动的断路器合闸,利用储能电动机 M 先使合闸弹簧拉紧(储能)。这时行程开关 ST3-4 断开,ST1-2 闭合,合闸时将控制开关 SA 转到“合闸”位置,合闸线圈 YO 通电,释放弹簧锁扣机构,使断路器合闸</p>

(四) 变配电所的中央信号装置

1. 中央信号装置的类别和要求 如表 ZY8-8 所示。

表 ZY8-8 中央信号装置的类别和要求

序号	项目	说明
1	中央信号装置的类别	<ul style="list-style-type: none"> ① 按功能分,中央信号装置包括事故信号和预告信号两种 ② 按信号方式分,包括音响信号和灯光信号两种 ③ 按电流类别分,包括直流系统的和交流系统的两种 ④ 按信号可否重复分,有中央复归重复动作的和中央复归不重复动作的两种
2	对中央信号装置的要求	<ul style="list-style-type: none"> ① 中央事故信号装置应保证在任一断路器事故跳闸时,能立即发出音响信号和灯光信号或其它指示信号 ② 中央预告信号装置应保证在任一电路发生故障时,能及时发出音响信号,并有显示故障性能和地点的指示信号 ③ 中央事故音响信号与预告音响信号应有区别。一般事故音响信号用电笛(蜂鸣器),预告音响信号用电铃 ④ 中央信号装置在发出音响信号后,应能手动或自动复归音响;而灯光信号及其它指示信号仍应保持,直至处理后消除故障时为止

(续)

序号	项 目	说 明
2	对中央信号装置的要求	<p>⑤ 接线应简单、可靠,对信号回路的熔断器是否熔断应有监视</p> <p>⑥ 二次回路为直流操作并采用灯光监视时,一般宜设闪光装置,以指示断路器事故跳闸和自动投入</p> <p>⑦ 企业变电所的中央事故信号和预告信号一般采用重复动作的信号装置。如变电所主电路接线较简单,中央事故信号可采用不重复动作。企业配电所一般采用不重复动作的中央信号装置</p>

2. 中央信号装置的接线示例 如表 ZY8-9 所示。

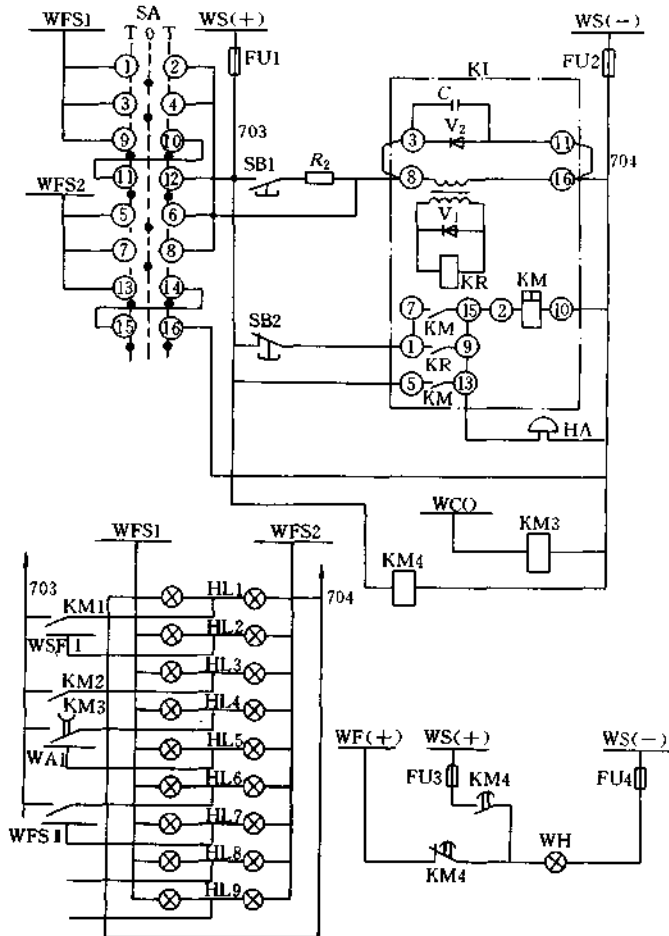
表 ZY8-9 中央信号装置的接线示例

序号	项 目	说 明
1	直流操作、中央复归重复动作的中央事故信号装置接线示例	
1.1	原理接线	<p>WS—信号电源小母线 WAS—事故音响信号小母线 WSA—信号辅助小母线 KI—冲击继电器 (ZC-23 型, 220V) KM—中间继电器 KR—干簧继电器 KM1、2—中间继电器 (DZ-31B 型, 220V) SB1—音响信号试验按钮 (LA18-22 型, 白色); SB2—音响信号解除按钮 (LA18-22 型, 黑色); HA—电笛 (DDZ1 型, 220V); R1、R3、R4—电阻 (ZG11-50 型, 1000Ω); FU1、2—熔断器 (R1-10/5 型)</p>
1.2	简要说明	<p>当变配电所的 I 段母线或 II 段母线的出线断路器事故跳闸时,保护装置使信号中间继电器 KM1 或 KM2 动作,事故音响小母线 WAS 与信号负电源小母线 WS(-) 接通,冲击继电器 KI 的微分变流器获得脉冲信号,使干簧继电器 KR 动作,并起动中间继电器 KM,使电笛 HA 发出事故信号。当脉冲消失后,干簧继电器 KR 失电,中间继电器 KM 自保持。按下音响解除按钮 SB2,中间继电器 KM 断电,音响信号中止。这时信号回路电流已经稳定,微分变流器没有输出,干簧继电器 KR 不动作,冲击继电器 KI 复归,准备第二次动作。当信号回路的信号消失时,由于微分变流器的作用,干簧继电器 KR 获得反向脉冲电压。由于二极管 V1 的旁路,使干簧继电器不动作,因此冲击继电器 KI 也不致动作</p> <p>按钮 SB1 是用来试验音响信号的;按钮 SB2 则是用来解除音响信号的</p>

(续)

序号	项 目	说 明
2	直流操作、中央复归重复动作的中央预告信号装置接线示例	

2.1 原理接线



WS—信号电源小母线 WFS—预告信号小母线 WCO—控制回路断线预告信号小母线
 WA—辅助小母线 KI—冲击继电器 (ZC-28, 220V) KM3—中间继电器 (DZS-11B, 220V) KM4—中间继电器 (DZS-12B, 220V) SB1—试验按钮 (LA18-22, 白色) SB2—解除按钮 (LA18-22, 黑色) HA—电铃 (UZC4-2, φ75mm, 220V) SA—转换开关 (LW5-15D1047/4) HL1~HL9—光字牌 (XD10, 220V) WH—白色信号灯 (XD5, 220V) FU1、FU2—熔断器 (RL6-15/15) FU3、FU4—熔断器 (R1-10/6) R2—电阻 (ZG11-50, 1000Ω) KM1、KM2—中间继电器 (DZ-31B型, 220V)

(续)

序号	项 目	说 明
2.2	简要说明	<p>当控制回路熔断器熔断或发生其它需要报警的故障时,保护装置(如KM3)动作,使预告信号小母线WFS1或WFS2与信号正电源WS(+)接通,冲击继电器KI的微分变流器从而获得脉冲信号,使干簧继电器KR动作,并起动中间继电器KM,使电铃HA通电,发出音响信号,同时相应的光字牌亮。当预告信号脉冲消失后,干簧继电器KR失电,中间继电器KM自保持。按下音响解除按钮SB2,中间继电器KM断电,音响信号停止。这时信号回路电流已经稳定,微分变流器没有输出,干簧继电器KR不动作,冲击继电器KI复归,准备第二次动作</p> <p>转换开关SA供检查光字牌HL使用。正常工作时,转换开关SA置于“接通”位置(O, on),检查时扳至“试验”位置(T, test)。这时正电源加到WFS1小母线上,负电源加到WFS2小母线上,WFS1与WFS2之间的所有预告信号光字牌均应明亮,表示其灯泡完好。当采用发光二极管光字牌时,冲击继电器应选用ZC-24型</p>
3	直流操作、中央复归不重复动作的中央信号装置接线示例	
3.1	原理接线(图a为中央事故信号装置,图b为中央预告信号装置)	<p>a)中央事故信号装置 b)中央预告信号装置</p> <p>KM1、KM2—中间继电器(DZ-31B, 220V) KM3—中间继电器(DZS-11B, 220V) SB1、SB2—试验按钮(LA18-22, 白色) SB3、SB4—解除按钮(LA18-22, 黑色) YE1、YE2—黄色信号灯(XD5, 220V) WH1、WH2—白色信号灯(XD5, 220V) HA1—电笛(DDZ1, 220V) HA2—电铃—(ZC4-2, φ75mm, 220V) FU1~FU4—熔断器(R1-10/6)</p>
3.2	简要说明	<p>当变配电所发生事故跳闸时,保护装置动作,使事故信号小母线WAS与信号负电源小母线WS(-)接通,从而使电笛HA1发出事故音响信号(图a)</p> <p>当控制回路熔断器熔断或其它需要报警的故障时,保护装置(如KM3)动作,使预告信号小母线WFS与信号正电源小母线WS(+)接通,从而使电铃HA2发出预告音响信号(图b)</p> <p>按钮SB1、SB2是用来检查音响信号是否完好的试验按钮 按钮SB3、SB4是用来停止音响信号的解除按钮 当第一个事故音响信号或预告音响信号未解除时,中间继电器KM1或KM2不能复归,因此音响回路不能再接通</p> <p>这种不重复动作的中央信号装置,只用于主接线比较简单的变配电所</p>
4	交流操作、中央复归重复动作的中央预告信号装置接线示例	

(续)

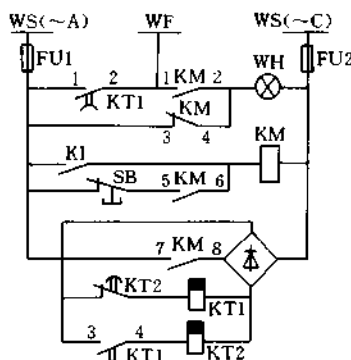
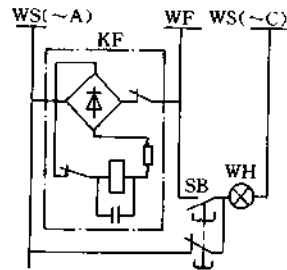
序号	项 目	说 明
4.1	原理接线	<p>WS—信号电源小母线 WFS—预告信号小母线 WA—辅助小母线 KI—冲击继电器 (ZC-11A, ~220V) KV—过电压继电器 KM—中间继电器 SB1—试验按钮(A-18-22, 白色) SB2—解除按钮(A-18-22, 黑色) HA—电铃(UC4-2, ~220V) WH—白色信号灯(XD5, ~220V) R₃—电阻(GZ11-50, 800Ω) R₄—电阻(GZ11-50, 10Ω) KG—瓦斯继电器轻瓦斯触点 KH—变压器温度继电器触点 HL1~HL7—光字牌(XD10, 220V) FU1、FU2—熔断器(R1-10/6)</p>
4.2	简要说明	<p>动作原理与本表序号 2.1 图所示结线的动作原理相类似 当变压器轻瓦斯保护 KG 或温度保护 KH 动作或其它需要报警的故障保护动作时, 使预告信号小母线 WFS1 与信号 WS (~A) 接通, 使冲击继电器 KI 动作, 其中中间继电器 KM 的触点接通电铃 HA 回路, 发出音响信号, 同时相应的光字牌亮。随着预告脉冲信号的消失, 过电压继电器 KV 失电, 中间继电器 KM 自保持。按下解除按钮 SB2, 中间继电器 KM 断电, 音响信号停止。这时信号回路电流已经稳定, 冲击继电器 KI 复归, 准备第二次动作按钮 SB1 为试验音响信号用。转换开关 SA 为检查光字牌用</p>
5	交流操作、中央复归不重复动作中央信号装置原理接线示例	
5.1	中央事故信号装置原理接线 (图 a)	
5.2	中央预告信号装置原理接线 (图 b)	<p>WS—信号电源小母线 WAS—事故信号小母线 WFS—预告信号小母线 KM—中间继电器 (ZJ4, ~220V) KT—时间继电器 (DS-121C, ~220V) SB1—试验按钮 (A18-22, 白色) SB2—解除按钮 (LA18-22, 黑色) HA1—电笛 (DDJ1, ~220V) HA2—电铃 (UC4-2, ~220V) WH—白色信号灯 (XD5, ~220V) FU1~FU4—熔断器 (R1-10/6)</p>

3. 闪光装置的原理接线 如表 ZY8-10 所示。

表 ZY8-10 闪光装置的原理接线

序号	项 目	说 明
1	直流系统的闪光装置原理接线	
1.1	由中间继电器和时间继电器构成的闪光装置	<div style="text-align: center;"> </div> <p>WS—信号电源小母线 WF—闪光信号小母线 KM—中间继电器 (DZS-145, -220V) KT—时间继电器 (JT3-11/1, -220V, 0.3~0.9s) SB—试验按钮 (A18-22, 白色) WH—白色信号灯 (XD5, 220V) FU1、FU2—熔断器 (R1-10/10)</p> <p>当断路器事故跳闸、自动投入或预备跳合闸时, 利用该断路器控制回路中转换开关位置与断路器辅助触点按“不对应原理”的接线, 使中间继电器 KM 通过闪光小母线 WF 而通电动作, 其触点瞬时闭合, 接通时间继电器 KT, 其触点 KT1-2 瞬时断开, 使 KM 断电, 但其触点延时断开。同时时间继电器的另一对触点 KT3-4 瞬时闭合, 使 WF 小母线获得 220V 正电源。这时该断路器的指示灯 (绿灯或红灯) 亮。在 KM 断电、其触点延时断开时, KT 断电, 其触点 KT1-2 延时闭合, 使 KM 通电, 同时其触点 KT3-4 延时断开, 使 WF 小母线的正电源消失。这时该断路器的指示灯变暗。当 KM 通电时, 其触点瞬时闭合, 又接通 KT, 其触点 KT1-2 瞬时断开, 使 KM 断电, 同时 KT3-4 瞬时闭合, 又使 WF 小母线接通正电源。这时该断路器的指示灯又由暗变亮。由于 KM 与 KT 的交替动作, 从而使 WF 小母线获得脉动的正电压, 而使指示灯出现一明一暗的闪光</p> <p>当扳动断路器的转换开关或操作手柄, 使不对应接线断开时, 指示灯即停止闪光, 闪光装置自动复归</p> <p>按钮 SB 和指示灯 WH 是供试验用的。按下 SB, 指示灯 WH 即闪光</p>
1.2	由闪光继电器构成的闪光装置	<div style="text-align: center;"> </div> <p>KF—闪光继电器 (DX-3, -110V) 其余与本表序号 1.1 图相同</p> <p>当断路器事故跳闸或自动投入时, 该断路器控制回路通过闪光小母线 WF 向闪光继电器 KF 供电, 使 WF 小母线获得正电源。这时该断路器的指示灯 (绿灯或红灯) 亮。闪光继电器 KF 线圈通电后, 其常闭触点断开, 使 WF 小母线的正电源又消失。这时该断路器指示灯变暗。KF 的常闭触点断开后, KF 线圈断电, 其常闭触点返回, 使 WF 小母线又获得正电源……由于闪光继电器 KF 的交替动作, 从而使 WF 小母线获得脉动的正电压, 而使指示灯闪光。其余与本表序号 1.1 相同</p>

(续)

序号	项 目	说 明
2	交流系统的闪光装置原理接线	
2.1	由中间继电器和时间继电器构成的闪光装置	 <p>KM—中间继电器 (ZJ4, ~220V) KT1、KT2—时间继电器 (JT3-21/1, ~220V, 0.3~0.9s) SB—解除按钮 (A18-22, 黑色) WH—白色信号灯 (XD5, 220V) FU1、FU2—熔断器 (R1-10/6)</p>
	原理说明	<p>当断路器事故跳闸或自动投入时,冲击继电器KI(接线参看表ZY8-9序号4.1图)动作,其常开触点闭合,使中间继电器KM通电(参看上图),其触点KM1-2、5-6、7-8瞬时闭合, KM3-4瞬时断开,使桥式整流器接通,时间继电器KT1通电动作,其触点KT1 1-2瞬时闭合,使WF小母线带电。这时该断路器的指示灯(绿灯或红灯)亮。同时触点KT1 3-4闭合,使时间继电器KT2通电动作,其触点断开,使KT1断电,其触点KT1-2延时断开,使WF小母线失电,指示灯灭……由于时间继电器KT1和KT2交替动作,使WF小母线获得脉动电压,从而使断路器的指示灯闪光</p>
2.2	由闪光继电器构成的闪光装置	 <p>KF—闪光继电器 (DX-3, ~220V) SB—试验按钮 (A18-22, 白色) WH—白色信号灯 (XD5, 220V)</p>
	原理说明	<p>其动作原理与本表序号1.2图所示相类似。这里的闪光继电器实际上是本表序号1.2图所示直流闪光继电器加上一个桥式整流器用于交流系统而已</p>

(五) 变配电所的常用测量仪表

1. 变配电所常用测量仪表的一般要求 如表ZY8-11所示。

表 ZY8-11 变配电所常用测量仪表的一般要求 (据 GBJ63—90)

序号	项 目	说 明
1	总的要求	① 能正确反映电力装置的运行参数 ② 能随时监测电力装置回路的绝缘状况
2	对仪表精确度等级的要求	① 除谐波测量仪表外, 交流回路仪表的精确度等级, 不应低于 2.5 级 ② 直流回路仪表的精确度等级, 不应低于 1.5 级 ③ 电量变送器输出侧仪表的精确度, 不应低于 1.0 级
3	配用互感器精确度等级的要求	① 1.5 级及 2.5 级的常用测量仪表, 应配用不低于 1.0 级的互感器 ② 电量变送器应配用不低于 0.5 级的电流互感器
4	对仪表测量范围和标度尺的选择要求	① 仪表的测量范围和电流互感器变流比的选择, 宜满足当电力装置回路以额定值的条件运行时, 仪表的指示在标度尺的 70%~100% 处 ② 对有可能过负荷运行的电力装置回路, 仪表的测量范围, 宜留有适当的过负荷裕度 ③ 对重载起动的电动机和运行中有可能出现短时冲击电流的电力装置回路, 宜采用具有过负荷标度尺的电流表 ④ 对有可能双向运行的电力装置回路, 应采用具有双向标度尺的仪表
5	对多个同类型装置参数的测量要求	对多个同类型电力装置回路参数的测量, 宜采用以电量变送器组成的选测系统。选测参数的种类及数量, 可根据生产工艺和运行监测的需要确定

2. 变配电所电能计量仪表的一般要求 如表 ZY8-12 所示。

表 ZY8-12 变配电所电能计量仪表的一般要求 (据 GBJ63—90)

序号	项 目	说 明
1	有功电度表的精确度等级要求	① 月平均用电量 $1 \times 10^6 \text{kW} \cdot \text{h}$ 及以上的电力用户电能计量点, 应采用 0.5 级的有功电度表 ② 下列电力装置回路, 应采用 1.0 级的有功电度表: a. 发电机; b. 主变压器; c. 需考核有功电量平衡的送配电线路; d. 火力发电厂中, 厂用电的总计量点; e. 月平均用电量小于 $1 \times 10^6 \text{kW} \cdot \text{h}$, 在 $315 \text{kV} \cdot \text{A}$ 及以上的变压器高压侧计费的电力用户电能计量点 ③ 下列电力装置回路, 应采用 2.0 级的有功电度表: a. 在 $315 \text{kV} \cdot \text{A}$ 以下的变压器低压侧计费的电力用户电能计量点; b. 75kW 及以上的电动机; c. 仅作为企业内部技术经济考核而不计费的线路和电力装置回路
2	无功电度表的精确度等级要求	① 下列电力装置回路, 应采用 2.0 级的无功电度表: a. 发电机; b. 主变压器; c. 并联电力电容器组; d. 在 $315 \text{kV} \cdot \text{A}$ 及以上变压器高压侧计费的电力用户电能计量点; e. 电力系统中需考核技术经济指标的送配电线路 ② 下列电力装置回路, 应采用 3.0 级的无功电度表: a. 在 $315 \text{kV} \cdot \text{A}$ 以下的变压器低压侧计费的电力用户电能计量点; b. 仅作为企业内部技术经济考核而不计费的电力用户电能计量点
3	电能计量用互感器的精确度等级要求	① 0.5 级的有功电度表和 0.5 级的专用电能计量仪表, 应配用 0.2 级的互感器 ② 1.0 级的有功电度表、1.0 级的专用电能计量仪表、2.0 级计费用的有功电度表及 2.0 级的无功电度表, 应配用不低于 0.5 级的互感器 ③ 仅作为企业内部技术经济考核而不计费的 2.0 级有功电度表及 3.0 级无功电度表, 宜配用不低于 1.0 级的互感器

3. 变配电所电气测量和电能计量仪表装设的要求 如表 ZY8-13 所示。

表 ZY8-13 变配电所电气测量和电能计量仪表装设的要求 (据 GBJ63—90)

序号	项 目	说 明
1	电流测量的要求	
1.1	应测量交流电流的电力装置回路	下列电力装置回路,应测量交流电流:①发电机;②高压侧为 35kV 及以上、低压侧为 1200V 及以上的主变压器,其中双绕组主变压器只测量一侧,三绕组主变压器测量各侧;③并联电力电容器组;④1200V 及以上的线路和 1200V 以下的供电、配电、用电网络的总干线路;⑤母线联络、母线分段、旁路和断路器回路;⑥消弧线圈;⑦55kW 及以上电动机;⑧根据生产工艺的要求,需监测交流电流的其它电力装置回路
1.2	宜测量或记录负序电流的电力装置回路	下列电力装置回路,宜测量或记录负序电流:①向三相负荷显著不平衡的电力用户供电,在运行中有可能超过制造厂规定所允许的长时间承受负序电流能力的发电机;②电力系统中性和电力用户处的负序电流监测点
1.3	应测量直流电流的电力装置回路	下列电力装置回路,应测量直流电流:①直流发电机;②直流电动机;③蓄电池组;④充电回路;⑤电力整流装置;⑥发电机、除无刷励磁外的同步电动机励磁回路以及自动调整励磁装置的输出回路;⑦根据生产工艺要求,需监测直流电流的其它电力装置回路
1.4	三相电流测量的要求	三相电流基本平衡的电力装置回路,可采用一只电流表测量其中一相电流;但在下列电力装置回路,应采用三只电流表分别测量三相电流: ① 汽轮发电机和 380V 的水轮发电机 ② 并联电力电容器组的总回路 ③ 110kV 重要的线路 ④ 三相负荷不平衡率大于 10% 的 1200V 及以上的电力用户线路 ⑤ 三相负荷不平衡率大于 15% 的 1200V 以下的供电线路
2	电压测量和绝缘监测的要求	
2.1	应测量交流电压的电力装置回路	下列电力装置回路,应测量交流电压:①发电机;②交流系统的各段母线;③根据生产工艺的要求,需监测交流电压的其它电力装置回路
2.2	应测量直流电压的电力装置回路	下列电力装置回路,应测量直流电压:①直流发电机;②直流系统的各段母线;③蓄电池组;④充电回路;⑤电力整流装置;⑥发电机的励磁回路;⑦根据生产工艺的要求,需监测直流电压的其它电力装置回路
2.3	应监测绝缘的电力装置回路	① 下列电力装置回路,应监测交流系统的绝缘:a. 发电机;b. 中性点非有效接地系统的各段母线 ② 下列电力装置回路,应监测直流系统的绝缘:a. 发电机的励磁回路;b. 直流系统的各段母线
3	功率测量的要求	
3.1	应测量有功功率的电力装置回路	下列电力装置回路,应测量有功功率:①发电机;②高压侧为 35kV 及以上、低压侧为 1200V 及以上的主变压器,其中双绕组主变压器只测量一侧,三绕组主变压器测量两侧;③35kV 及以上的线路;④专用旁路和兼用旁路的断路器回路;⑤35kV 及以上的永久性外桥断路器回路;⑥根据生产工艺的要求,需监测有功功率的其它电力装置回路

(续)

序号	项 目	说 明
3.2	应测量无功功率的电力装置回路	下列电力装置回路,应测量无功功率:①发电机;②高压侧为35kV及以上,低压侧为1200V及以上的主变压器,其中双绕组主变压器只测量一侧,三绕组主变压器测量两侧;③1200V及以上的并联电力电容器组;④35kV以上的线路;⑤35kV以上的专用旁路和兼用旁路的断路器回路;⑥35kV以上的永久性外桥断路器回路;⑦根据生产工艺的要求,需监测无功功率的其它电力装置回路
4	功率因数、频率及其它测量的要求	
4.1	应装设功率因数表的电力装置	同步电动机应装设功率因数表
4.2	应装设频率表的电力装置回路	下列电力装置回路,应设置频率监测点:①发电机;②接有发电机和发电机变压器组的各段母线;③变电所中,有可能解列运行的各段母线
4.3	同步并列测量要求	发电机和设置并列点的变电所,应装设手动准同步测量仪表装置
4.4	谐波测量要求	在谐波监测点,宜装设谐波电压和谐波电流测量仪表
5	电能计量的要求	
5.1	应装设有功电度表的电力装置回路	下列电力装置回路,应装设有功电度表:①发电机。②主变压器。对需考核母线有功电量平衡的主变压器各侧,均应装设有功电度表;对不需考核母线有功电量平衡的主变压器,其中三绕组主变压器应装设两侧,双绕组变压器应只装设一侧。③电力系统中,1200V~110kV的线路。④1200V以下,供电、配电、用电网络的总干线。⑤电力用户处的有功电量计量点。⑥专用旁路和兼用旁路的断路器回路。⑦需进行技术经济考核的75kW及以上的电动机。⑧根据技术经济考核和节能管理的要求,需计量有功电量的其它电力装置回路
5.2	应装设无功电度表的电力装置回路	下列电力装置回路,应装设无功电度表:①发电机。②主变压器。对三绕组主变压器,应装设两侧。对双绕组主变压器,应只装设一侧。③电力系统中,3~110kV的线路。④并联电力电容器组。⑤电力用户处的无功电量计量点。⑥专用旁路和兼用旁路的断路器回路。⑦根据技术经济考核和节能管理的要求,需计量无功电量的其它电力装置回路
5.3	对电能计量装置的装设要求	① 电力用户处的电能计量装置,宜采用全国统一标准的电能计量柜 ② 装设在66kV(原标准为63kV,现按GB156—93改,下同)及以上的电能计量点的计费电度表,应使用互感器的专用二次回路;装设在66kV以下的电力用户处电能计量点的计费电度表,应设置专用的互感器 ③ 专用电能计量仪表的设置,应按供用电管理部门对电力用户不同计费方式的规定确定 ④ 电能计量用电流互感器的二次侧电流,当电力装置回路以额定值的条件运行时,宜为电度表标定电流的70%~100% ⑤ 双向送、受电的电力装置回路,应分别计量送、受电的电量。当以两只电度表分别计量送、受电量时,应采用有止逆器的电度表

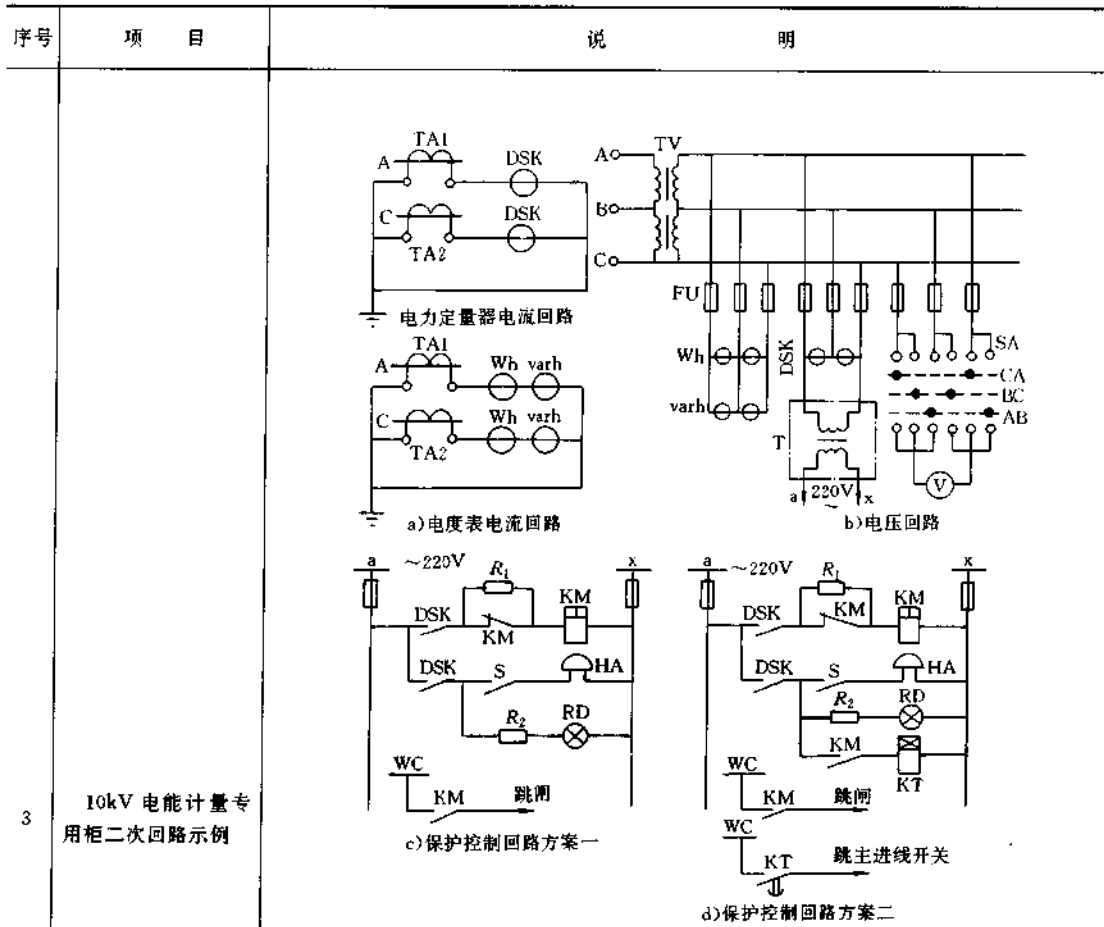
0.1
1
1
1

4. 变配电所电气测量电路示例 如表 ZY8-14 所示。

表 ZY8-14 变配电所电气测量电路示例

序号	项 目	说 明
1	6~10kV 线路电气测量仪表原理电路示例	<p>TA1、TA2—电流互感器 TV—电压互感器 PA—电流表 PJ1—三相有功电度表 PJ2—三相无功电度表 WV—电压小母线</p>
2	6~10kV 母线电压测量及绝缘监察原理电路示例	<p>TV—电压互感器 QS—高压隔离开关 SA—电压转换开关 PV—电压表 KV—电压继电器 KS—信号继电器 WC—控制小母线 WS—信号小母线 WFS—预告信号小母线</p>

(续)



主要设备元件表

名称	符号	型号规格	数量
电流互感器	TA	LQJ-10, 5A	2
电压互感器	TV	JDJ-10, 10000/100V	2
有功电度表	W·h		1
无功电度表	var·h		1
电力定量器	DSK	DSK1、2, 100V, 5A	1
中间变压器	T	BK400, 100/220V	1
钮子开关	S	KN, 3A	1
中间继电器	KM	DZ-52/~220V	1
时间继电器	KT	JS-10, ~220V, 24min	1
电铃	HA	UC4-2, φ75mm, ~220V	1
电阻	R	ZG11-15, 3kΩ	1
红色指示灯	RD	XD5, ~220V	1
熔断器	FU	R1-10, 5A	1
切换开关	SA	LW2-5.5/F4-X	1
电压表	V	1T1-V, 10/0.1kV	1

注：电力定量器保护控制回路可按需要选择方案一或方案二

(六) 供电系统的自动装置

1. 电力线路的自动重合闸装置 如表 ZY8-15 所示。

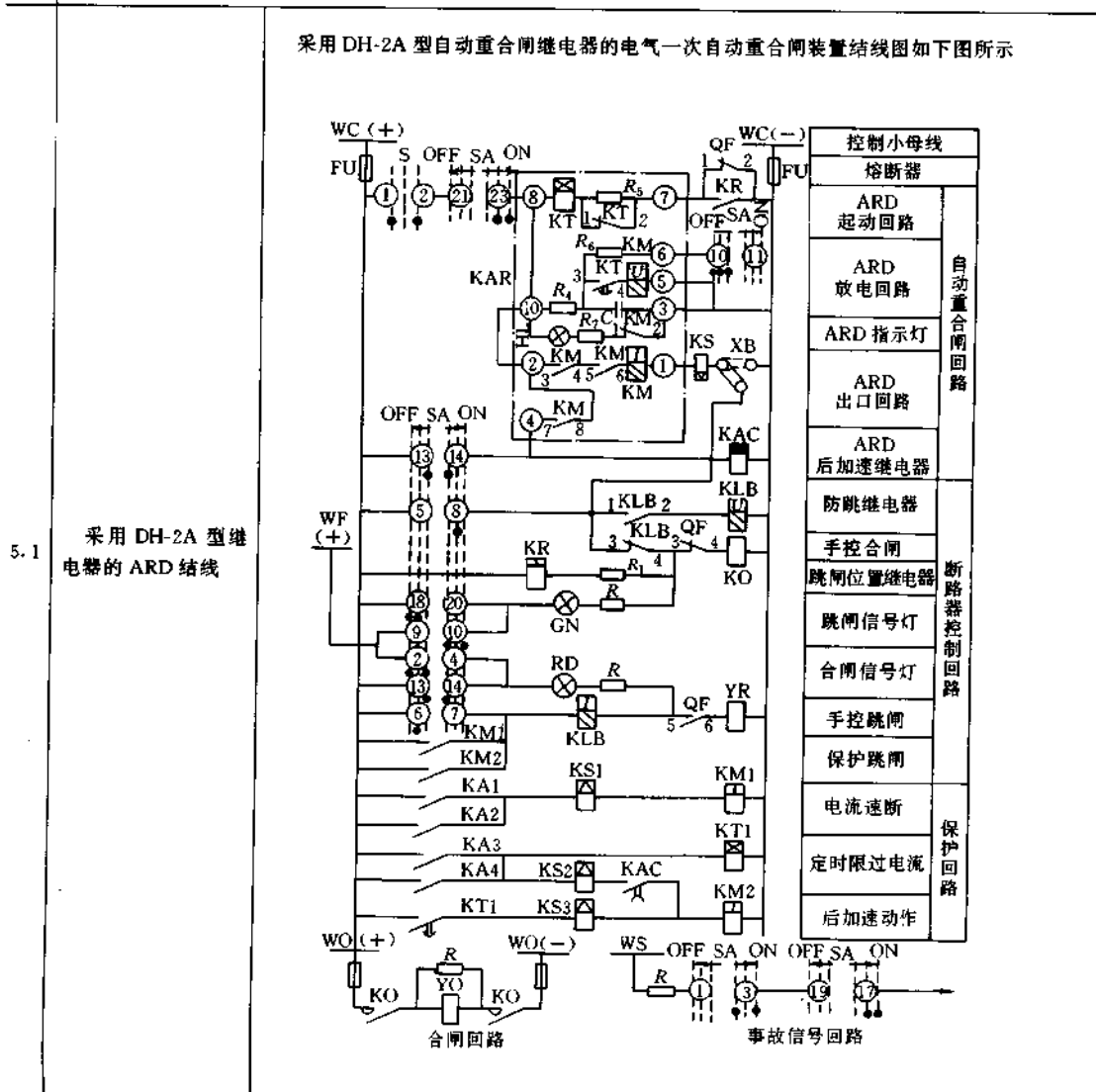
表 ZY8-15 电力线路的自动重合闸装置 (ARD)

序号	项 目	说 明
1	自动重合闸的分类	① 按自动重合闸的方法分, 有机械式和电气式 ② 按自动重合闸装置的组成元件分, 有机电型和晶体管型 ③ 按自动重合闸的次数分, 有一次重合式、二次重合式和三次重合式
2	自动重合闸的应用	① 机械式 ARD, 适于采用弹簧操动机构的断路器, 一般在交流操作或仅有直流跳闸电源而无直流合闸电源的变配电站中采用。机械式 ARD 为一次重合式 ② 电气式 ARD, 适于采用电磁操动机构的断路器, 在有直流操作电源的变配电站中采用。电气式 ARD 可有一次、二次、三次重合式, 但一般应用一次重合式 据统计, 对于架空线路来说, 一次重合的成功率可达 60%~90%, 而二次重合的成功率只有 15%左右, 三次重合的成功率只有 3%左右, 因此供电系统中通常只采用一次重合闸
3	自动重合闸的装设要求 (据 GB50062—92)	
3.1	应装设自动重合闸的情况	3~110kV 电网中, 在下列情况下应装设自动重合闸装置: ① 3kV 及以上的架空线路和电缆与架空的混合线路, 当用电设备允许且无备用电源自动投入时 ② 旁路断路器和兼作旁路的母联或分段断路器
3.2	单侧电源线路的自动重合闸方式	对单侧电源线路的自动重合闸方式的选择应符合下列规定: ① 采用一次重合闸 ② 当电网由几段串联线路构成时, 宜采用重合闸前加速保护动作或顺序自动重合闸
3.3	双侧电源线路的自动重合闸方式	对双侧电源线路的自动重合闸方式的选择应符合下列规定: ① 并列运行的发电厂或电力系统之间, 具有 4 条及以上联系的线路或 3 条紧密联系的线路, 可采用不检查同步的三相自动重合闸 ② 并列运行的发电厂或电力系统之间, 具有两条联系的线路或 3 条联系不紧密的线路, 可采用下列重合闸方式: a. 当非同步合闸的最大冲击电流超过 GB50062—92 附录二中规定的允许值时, 可采用同步检定和无电压检定的三相重合闸 b. 当非同步合闸的最大冲击电流不超过 GB50062—92 附录二中规定的允许值时, 可采用不检查同步的三相重合闸 c. 没有其它联系的并列运行双回线路, 当不能采用非同步重合闸时, 可采用检查另一回线路有电流的自动重合闸 ③ 双侧电源的单回线路, 可采用下列重合闸方式: a. 可采用解列重合闸 b. 当水力发电厂条件许可时, 可采用自同步重合闸 c. 可采用一侧无电压检定, 另一侧同步检定的重合闸
3.4	对自动重合闸装置的要求	自动重合闸装置, 应符合下列要求: ① 手动或通过遥控装置将断路器断开或将断路器投入故障线路上而随即由保护装置将其断开时, 自动重合闸均不应动作 ② 自动重合闸装置在其某些元件损坏以及继电器触点粘住或拒动等情况下, 均不应使断路器多次重合 ③ 当断路器处于不正常状态不允许实行自动重合闸时, 应将自动重合闸装置闭锁
4	自动重合闸装置的基本原理	
4.1	原理电路	<p>QS—隔离开关 QF—断路器 YR—跳闸线圈 YO—合闸线圈 KO—合闸接触器 KAR—重合闸继电器 KM—保护装置出口继电器 SB1—合闸按钮 SB2—跳闸按钮</p>

(续)

序号	项目	说明
4.2	原理说明	<p>① 手动合闸：按下合闸按钮 SB1，使合闸接触器 KO 通电动作，接通合闸线圈 YO 的回路，使断路器 QF 合闸</p> <p>② 手动跳闸：按下跳闸按钮 SB2，接通跳闸线圈 YR 的回路，使断路器 QF 跳闸</p> <p>③ 自动跳闸：当线路发生短路故障时，过电流保护装置动作，其出口继电器 KM 的触点闭合，接通跳闸线圈 YR 的回路，亦使断路器 QF 跳闸</p> <p>④ 自动重合闸：断路器 QF 自动跳闸以后，其辅助触点 QF3-4 闭合，同时重合闸继电器 KAR 起动，经短延时接通合闸接触器 KO 回路，接触器 KO 又接通合闸线圈 YO 回路，使断路器 QF 重合闸</p> <p>⑤ 防跳装置：对一次重合闸装置，必需采取“防跳”措施，以防断路器合闸于永久性故障线路上时，多次反复跳合、损坏断路器触头和灭弧系统。在电气一次重合闸装置中，通常采用防跳继电器（参看本表序号 5.1 图）来实现</p>

5 电气一次自动重合闸装置接线示例



(续)

序号	项 目	说 明
5.1	采用 DH-2A 型继电器的 ARD 接线	<p>WC—控制小母线 WF—闪光信号小母线 WO—合闸电源小母线 WS—信号小母线 QF—断路器(辅助触头) S—选择开关 SA—控制开关 KAR—DH-2A 型重合闸继电器 KT—时间继电器 KS—信号继电器 KM—中间继电器 KAC—后加速继电器 KLB—防跳继电器 KR—跳闸位置继电器 KO—合闸接触器 YO—合闸线圈 YR—跳 闸线圈 XB—连接片 GN—绿色信号灯 RD—红色信号灯 HL—指示灯</p>
5.2	动作原理说明	<p>① 正常运行状态：选择开关 S 旋在重合闸装置 ARD 投入的位置，控制开关 SA 的触点 21-23 闭合，但断路器 QF 处在合闸状态，其辅助触头 QF1-2 和 QF3-4 均断开，跳闸位置继电器 KR 不动作，其触点也是断开的，因此时间继电器 KT 不动作。重合闸继电器 KAR 中的电容器 C 经 R_4 充电，为重合闸作好准备</p> <p>② 自动重合闸装置动作：当线路发生故障，保护装置动作，使断路器 QF 自动跳闸后，触点 QF3-4 闭合，跳闸位置继电器 KR 动作（注意：合闸接触器 KO 因串有电阻 R_1 和继电器 KR 线圈而不会动作）。KR 触点闭合后，使时间继电器 KT 动作。KT 的常开触点 KT1-2 断开后，串入电阻 R_5，使 KT 能较长时间地工作；同时其常开触点 KT3-4 延时闭合，使电容器 C 对中间继电器 KM (U) 放电，导致 KM (U) 动作，其两对常开触点 KM3-4、5-6 闭合。合闸接触器 KO 经 QF3-4、KLB3-4、XB、KS、KM (J)、KM5-6、KM3-4、SA21-23 和 S1-2 接上电源，从而使断路器重合闸。如果线路故障是暂时性的，则断路器重合闸成功。此时所有继电器自动返回，电容器 C 又开始充电，经 15~25s 后可达到稳定电压，又为下次重合闸作好准备</p> <p>③ 重合闸后保护加速动作：如果线路故障为永久性的，则重合闸后，定时限过电流保护的起动继电器 KA3、KA4 将会动作，其常开触点闭合，而加速继电器 KAC 的延时返回触点尚未及断开，因此中间继电器 KM2 动作，使断路器瞬时跳闸，实现在重合闸失败后快速跳闸的要求</p> <p>④ 断路器只重合闸一次：当断路器重合闸于永久性故障线路上，保护装置使它加速动作，再次跳闸后，虽然跳闸位置继电器 KR 重新动作，时间继电器 KT 再次起动并闭合其触点 KT1-2 和 KT3-4，但由于电容器 C 尚未及充足电压，因此中间继电器 KM (U) 不能动作，而且由于 KM (U) 与 C 相并联的关系，C 永远不可能充电到 KM (U) 动作所需的电压，从而确保断路器不会再次重合闸，即保证断路器只重合闸一次</p> <p>⑤ 手动合闸于故障线路上跳闸后不会重合闸：当用控制开关 SA 合闸时，其触点 SA5-8 接通，合闸接触器 KO 通电，使断路器合闸。如线路上存在着故障，则电流速断保护 KA1、KA2 动作，使断路器瞬时跳闸。如短路电流小于电流速断电流时，则定时限过电流保护的起动元件 KA3、KA4 也会瞬时起动。由于 SA13-14 在预备合闸时已经接通，加速继电器 KAC 已经动作，因此 KA3、KA4 触点接通，中间继电器 KM2 立即动作，也使断路器瞬时跳闸。这时因电容器 C 尚未及充足电压，因此不会重合闸</p> <p>⑥ 防跳继电器的作用：用于防止中间继电器 KM 的触点被粘住而线路上又存在着永久性故障时断路器多次重合闸（通常称为“开关跳跃现象”）。装设了防跳继电器 KLB 以后，在跳闸线圈 YR 被接通的瞬间，KLB (J) 因有电流通过而动作，其触点 KLB1-2 闭合，KLB (U) 有电而自保持，其常闭触点 KLB3-4 断开，切断了合闸接触器 KO 的回路，从而不可能再次重合闸，实现了“防跳”的目的</p>

2. 备用电源自动投入装置 如表 ZY8-16 所示。

表 ZY8-16 备用电源自动投入装置 (APD)

序号	项 目	说 明
1	备用电源自动投入装置的类型	<p>① 备用线路自动投入装置：两路电源进线的变配电所，正常时一路工作，一路备用。当工作的电源线路因故失电时，APD启动，使备用线路投入。通常是两路电源互为备用</p> <p>② 备用变压器自动投入装置：两台或多台变压器的变电所，正常时留有一台变压器备用，当某一台工作的变压器发生故障时，APD启动，将故障变压器切除，而将备用变压器投入</p> <p>③ 母线分段断路器自动投入装置：正常时，两段母线各自带负荷运行，分段断路器是断开的，当任一段母线因进线电源或变压器故障而失电时，APD启动，将该段母线的电源侧断路器跳开，而投入母线分段断路器。这种方式的特点是两段母线的电源互为备用</p> <p>下列情况可装设备用电源或备用设备的自动投入装置：</p> <p>① 由双电源供电的变电所或配电所，其中一个电源经常断开作为备用</p> <p>② 发电厂、变电所和配电所内有互为备用的母线段</p> <p>③ 发电厂、变电所内有备用变压器</p> <p>④ 变电所内有两台所用变压器</p> <p>⑤ 生产过程中某些重要机组有备用机组</p>
2	应装设自动投入装置的情况 (据 GB50062-92)	<p>① 保证备用电源在电压、工作回路断开后才投入备用回路</p> <p>② 工作回路上的电压，不论因何原因消失时，自动投入装置均应延时动作</p> <p>③ 手动断开工作回路时，不起自动投入装置</p> <p>④ 保证自动投入装置只动作一次</p> <p>⑤ 备用电源自动投入装置动作后，如投到故障上，必要时，应使保护装置加速动作</p> <p>⑥ 备用电源自动投入装置中，可设置工作电源的电流闭锁回路</p>
3	对自动投入装置的要求 (据 GB50062-92)	
4	备用电源自动投入装置的基本原理	
4.1	原理电路	<p>WL1—工作电源线路 WL2—备用电源线路 QF1~QF2—断路器 KO—合闸继电器 KM—合闸接触器 YO—合闸线圈</p>

(续)

序号	项目	说明
4.2	原理说明	<p>① 正常运行状态: 断路器 QF1 合闸, 电源 WL1 供电; 断路器 QF2 分闸, 电源 WL2 备用。辅助触点 QF1 1-2 是闭合的, 因此合闸继电器 KO 处于动作状态, 其延时断开触点是闭合的, 但 QF1 3-4 是断开的, 因此合闸接触器 KM 并不通电。合闸线圈 YO 因 KM 未通电动作, 因此也是不通电的, 但其回路中的辅助触点 QF2 1-2 闭合, 使断路器 QF2 处于等待合闸状态</p> <p>② 备用电源投入: 当工作电源 WL1 失电或发生故障而使断路器 QF1 跳闸时, QF1 1-2 断开, 合闸继电器 KO 断电, 其延时断开触点将延时断开。但此时 QF1 3-4 闭合, 使合闸接触器 KM 通过未及断开的 KO 触点及 QF1 3-4 而通电动作, 其触点闭合, 接通合闸线圈 YO 的回路, 使断路器 QF2 合闸, 从而使备用电源 WL2 自动投入。随后 YO 断电, 其它继电器、接触器返回</p>
5	高压双电源互为备用的 APD 接线示例	
5.1	原理接线	<p>a) 集中表示的原理接线图</p>

(续)

序号	项目	说明
5.1	原理接线	<p>b) 分开表示的原理接线图</p>
5.2	原理说明	<p>① 正常运行状态: 假设 WL1 为工作电源, WL2 为备用电源, WL2 为备用电源, QF1 合闸, QF2 分闸, 正常运行时, 电压互感器 TV1 和 TV2 均带电, 因此电压继电器 KV1~KV4 均处于动作状态, 它们的常闭触点均断开, 从而切断了 APD 启动回路中时间继电器 KT1 和 KT2 的电源, 使 APD 不致动作</p> <p>② 备用电源自动投入: 当工作电源 WL1 因故停电时, 电压互感器 TV1 失电, 电压继电器 KV1 和 KV2 的常闭触点返回, 接通时间继电器 KT1, 经过整定的延时后, 其触点闭合, 经信号继电器 KS1 接通跳闸线圈 YR1 的回路, 使断路器 QF1 跳闸, QF1 跳闸后, 其常闭辅助触点 QF1 1-2 闭合, 通过信号继电器 KS4 和中间继电器 KM2 的常闭触点、QF2 的辅助触点 QF2 7-8 而接通合闸线圈 YO2 回路, 使断路器 QF2 合闸, 从而使备用电源 WL2 自动投入</p> <p>③ 保证自动投入装置只动作一次: 备用电源 WL2 的断路器 QF2 合闸后, 其辅助触点 QF2 3-4 闭合, 使中间继电器 KM2 通电动作, 其常开触点闭合以自保持, 其常闭触点则断开 QF2 的合闸回路, 从而保证 QF2 只合闸一次</p>

(续)

序号	项目	说明
5.2	原理说明	<p>④ 几点说明: a. 本接线方案两电源的断路器均采用交流操作的 CT7 型弹簧操作机构, 但亦可采用直流操作。b. 母线中断路器自动投入回路中采用 2 个电压继电器的触点串联, 目的在于防止电压互感器一相熔断器熔断时造成 APD 误动作。c. 为防止工作电源断路器 QF1 因过电流保护跳闸时备用电源断路器 QF2 在此故障情况下误合闸, 可在 QF2 的合闸回路中串入 QF1 过电流保护的触点, 使它闭锁 QF2 的合闸回路 (本表序号 5.1 图 b 中未考虑)。d. 本接线方案的展开图及其主要设备表, 参看文献 (2) 中表 ZD9-10, 采用的控制开关触点位置参看前面表 ZY8-7 序号 3.2</p>
6	母线联络断路器自动投入接线示例	
6.1	原理接线	

(续)

序号	项目	说明					
		设备名称	图上符号	型号规格	数量		
6.2	主要设备	电压继电器	KV1~KV4	DJ-131/60C	4		
		电流继电器	KA1, KA2	DL-11/10A	2		
		时间继电器	KT1~KT3	DS-112C/220V	3		
		信号继电器	KS1~KS5	DX11/1A	5		
		中间继电器	KM1	DZB-115/220V	1		
		中间继电器	KM2	DZS-145/220V	1		
		重合闸继电器	KAR	DH-2A/220V	1		
		控制开关	SA1~SA3	LW2-Z-1a.4, 6a.20.40/F8	1		
		合闸接触器	KO1~KO3	CZ9/220V	3		
		脱扣器	YR1~YR3	CD10/220V	3		
		电阻	R	1Q50W	1		
		电阻	R2	10kΩ10W	1		
		6.3	简要说明	<p>① 本接线方案适用于双路电源, 单母线分段, 母线联络断路器的自动投入, 操作电源采用硅整流, 直流 220V, 断路器操动机构采用 CD10 型</p> <p>② 正常运行时, 母线联络断路器 QF3 是断开的, 而断路器 QF1 和 QF2 都是合闸的, 两段母线 WB1 和 WB2 分别由电源进线 WL1 和 WL2 供电</p> <p>③ 假设某一电源进线失电时, 其电压保护动作, 使其断路器跳闸, 同时利用该断路器的常闭辅助触点的闭合去起重合闸继电器 KAR, 使母线联络断路器合闸, 使断电的那段母线由另一电源进线供电, 恢复正常运行</p> <p>④ 该方案的展开图参看文献 [4]</p>			

(续)

序号	项目	说明
7	<p>7.1</p> <p>原理接线</p>	<p>7.1</p> <p>原理接线</p>

(续)

序号		项目		说明		
序号	项目	设备名称	图上符号	型号规格	数量	
7.2	主要设备元件	低压断路器 低压刀开关 电压换相开关 组合开关 主令开关 熔断器 红色指示灯 绿色指示灯 电流互感器 按钮 按钮 失压线圈 中间继电器 交流接触器 限位开关 单相电动机 电阻 整流元件 电流表 电压表	QF1、QF2 QK1~QK4 SA3、SA4 S1、S2 SAI、SA2 — RD1、RD2 GNI、GN2 TAI、TA2 SB1、SB2 SB3、SB4 YR1、YR2 KM1、KM2 K1、K2 SSI、SS2 M1、M2 R1、R2 V1、V2 A V	DW15-1000/3 或 DW15-1500/3 HD13-1000/3 或 HD13-1500/3 LW5-15E0491/2 HZ10-10/2 LS2-3 RC1A-10/5A XD7-220/12V, 1.2W XD7-220/12V, 1.2W LMZJ1 LA2, 红色 LA2, 绿色 DW15 自带, 380V DW15 自带, 220V DW15 自带 220V DW15 自带 DW15 自带 220V DW15 自带 DW15 自带 1T1-A 1T1-V, 0~450V	2 4 2 2 2 14 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 6 2	
7.3	简要说明	① 正常运行时, 一路电源供电, 另一路电源备用, 例如 WL1 供电, WL2 备用; a. 首先合上 QK1、QK3, 再合上 S1。如用自动, 则将 SA1 扳到自动位置; 如用手动, 则将 SA1 扳到手动位置。然后按下按钮 SB1, 则断路器 QF1 合闸, WL1 供电。b. 合上 QK2、QK4, 再合上 S2, 并将 SA2 扳到自动位置, 使断路器 QF2 作好自动合闸准备 ② 当工作电源 WL1 停电时, 其失压保护使断路器 QF1 跳闸; 同时利用其常闭辅助触点的闭合, 接通备用电源断路器 QF2 的合闸回路, 使备用电源断路器合闸, 将备用电源 WL2 投入				

3. 供电系统远动装置简介 如表 ZY8-17 所示。

表 ZY8-17 供电系统远动装置简介

序号	项 目	说 明
1	电力系统远动技术的发展简史	<p>① 第一阶段 (20 世纪 30 年代): 以继电器和电子管器件为主要部件构成远动装置</p> <p>② 第二阶段 (20 世纪 50~60 年代): 以半导体器件为主体, 采用模数转换技术和脉冲编码技术、信息论中抗干扰编码, 与计算机技术相结合的远动装置</p> <p>③ 第三阶段 (20 世纪 60 年代以后): 采用微型计算机构成远动系统</p>
2	远动装置的组成	
2.1	遥测	<p>将执行端的各种测量数据传送到调度端。遥测量一般有模拟量、数字量、脉冲计数量和其它测量值</p> <p>① 模拟量: 电气设备运行的参数, 如电压、电流、功率等, 经过各种变送器转换, 变为统一规格的直流电压或直流电流输入远动设备, 经过多路转换开关, 输入模数转换器, 转换成 10 位或 12 位 (包括符号位) 的数值, 传送到调度端</p> <p>② 数字量: 主要是数字式频率计、电能累加器和变压器分接头位置等所反映的系统频率、耗电量及变压器分接头位置等。这些量经过相应的变送器或直接以并行数字状态输入到远动设备的并行部件。输入的格式可能是若干组并行的二进制、二-十进制或格雷码形式</p> <p>③ 脉冲数量: 脉冲电度表以脉冲串的形式向远动设备输入, 由远动设备进行累加。根据调度端的命令, 向调度端传送。传送的间隔周期可以是 15min、1h、8h 或 24h</p> <p>④ 其它测量值: 诸如变压器的油温, SF₆ 组合电器的气体压力、密度等</p>
2.2	遥信	<p>将执行端电工设备的状态以信号的两种状态即“0、1”或“断开、闭合”传送给调度端。遥信反映的内容主要有断路器和隔离开关的位置, 继电保护的动作状态, 报警信号, 自动控制的投、切操作, 变电所的事故信号, 电工设备参数的越限信号, 以及执行端远动设备的状态等</p> <p>遥信的传送有变位传送和循环传送两种, 以变位传送为优。为避免发生信号丢失, 在远动设备初投入运行时, 需将全部内容向调度端传送, 使调度端安全监控系统内的数据库的内容和模拟盘的信号状态准确地反映系统内运行设备的状态。在平时定期传送全部信号</p> <p>对遥信的主要技术要求是在遥信变位以后, 应在 1s 内传送到调度端, 并要求防止遥信误动作</p>
2.3	遥调	<p>由调度端向执行端发送调节命令, 执行端经过校核后转换成适合于被控对象的数据形式, 驱动被调对象</p> <p>发送的调节命令, 可以采取返送校核, 也可以不采取返送校核, 而由执行端接收遥调命令后直接执行</p> <p>遥调命令有两种形式: ① 设定值形式: 由调度端向执行端发送控制被控对象的一个数值, 执行端接收后或者以数字形式直接输出, 或者经数模转换器将数字量转换成被控对象所需要的模拟量形式输出。② 升降命令形式: 将调度端发送过来的升降调节命令, 转换成升降的步进信号, 用以调节变压器的分接头位置</p>
2.4	遥控	<p>调度端远距离控制变电所需要调节控制的对象。被控对象为变电所内电气设备的合闸和跳闸、投入和切除。为了确保遥控动作准确无误, 一般采用“选择—返送校核—执行”的过程</p> <p>① 选择: 在调度端发送命令前, 首先应校核该被控设备处在正常运行状态, 所发送的命令也符合被控设备的现状。在调度端校核无误后, 才能向执行端发送命令</p> <p>② 返送校核: 命令发送到执行端后, 经过差错控制的校核, 确认命令没有受到干扰, 执行端即可将正确接收的命令输出, 同时将输出命令的情况反编码送到调度端; 在调度端将接收到的返送校核码与原命令码进行比较</p> <p>③ 执行: 在返送校核无误后, 将结果显示给调度人员, 并向执行端发送执行命令。此时执行端根据执行命令执行控制操作</p>

(续)

序号	项 目	说 明
3	微机控制的供电系统远动装置示例	
3.1	概述	<p>供电系统的远动装置由调度端、执行端及联系两端的信号通道等三大部分组成，组成框图如下图所示</p>
3.2	调度端	<p>调度端由操作台和数据处理微型机组成</p> <p>操作台包括：①供电系统模拟盘一块，盘上绘有供电系统电路图，电路图上每个断路器均装有跳、合闸指示灯。事故跳闸时，相应的指示灯还要闪光，指出跳闸的具体部位，同时发出事故音响信号和灯光信号。②数据采集和控制用计算机系统一套，包括 a. 主机一台，用以直接发出各项命令进行操作；b. 打印机一台，可根据命令随时打印出所需的各项数据；c. 彩色 CRT 显示器一台，用以显示系统全部或局部的工况和有关数据以及各种操作命令和事故状态等。③若干路就地常测入口，通过数字表，将信号输入计算机，并用以随时显示供电系统电源进线的电压和功率。④通信接口，用以完成与数据处理微型机之间的通信联系</p> <p>数据处理微型机的主要功能是：①根据所记录的全天小时或半小时平均负荷绘出全厂用电负荷曲线。②按全厂有功电能、功率因数及最大需电量等计算每月总电费。③统计全厂高峰负荷时间的用电量。④根据需要，统计各配电线路的用电情况。⑤统计和分析运行及事故情况等</p>
3.3	信号通道	<p>信号通道是用来传递调度端操作台与执行端控制箱之间往返的信号用的通道，一般采用带屏蔽的电话电缆，在控制距离小于 1km 时，也可采用控制电缆或塑料绝缘导线。通道的敷设一般采用树干式，各车间变电所通过分线盒与之相联，如下图所示</p>

和

PIA

(续)

序号	项 目	说 明
3.4	执行端	执行端是用逻辑电路和继电器组装而成的成套控制箱。每一个被控点至少安装一台。其主要功能是：①遥测：包括电流、电压等参数的遥测，可设一路参数为常测，其余各路参数为定时巡回检测或自动选测。另外通过有功电度表和无功电度表内加装的光电转换单元，将铝盘的转数转换成脉冲信号送回调度端，以实现有功电能和无功电能的遥测。②通信：其中一部分反应被控断路器的跳、合闸状态以及事故跳闸的报警信号；另一部分反应预告信号，可实现过负荷、过电压、变压器瓦斯保护及温度保护等的报警。③遥调：对于有载调压型变压器，可根据调度命令，实现带负荷远距离调节变压器分接头电压。④遥控：可对断路器进行远距离分、合闸操作

4. 高层建筑自动化系统简介 如表 ZY8-18 所示。

表 ZY8-18 高层建筑自动化系统 (BAS) 简介

序号	项目	说 明
1	智能型现代建筑的发展和组成	
1.1	智能型高层建筑的发展简史	1984 年在美国康涅狄格州建成世界上第一座智能型大厦 1985 年日本的第一座智能型大厦落成。其后日本新建的高层建筑中，有约 60% 为智能型 德、法、英等西欧国家随后也相继建成一些智能型大厦 我国于 80 年代末首先在沿海地区进行智能型高层建筑的建设，深圳的国际贸易中心大厦就达到“智能型”的要求。现在一批现代化的智能型大厦正在广州、上海、北京及一些内地城市中兴建。这表明“智能型建筑”已成为现代化高层建筑的发展趋势
1.2	智能型高层建筑的含义和组成	按我国国家标准《高层民用建筑设计防火规范》及行业标准《民用建筑电气设计规范》规定，下列建筑属于高层建筑： ① 10 层及 10 层以上的住宅建筑（包括底层设置商业服务网点的住宅） ② 建筑高度超过 24m 的其它民用建筑 ③ 与高层建筑直接相连且高度不超过 24m 的裙房 智能型高层建筑与普通型高层建筑不同，智能型高层建筑是综合应用计算机、信息通信等方面的先进技术，使建筑物成为具有远程通信功能、办公自动化功能和建筑自动化功能的高层建筑。智能型建筑由下列三大系统组成： ① 远程通信系统（Long-range communication system，简称 LCS 或 LC 系统） ② 办公自动化系统（Office automation system，简称 OAS 或 OA 系统） ③ 建筑自动化系统（Building automation system，简称 BAS 或 BA 系统），又称“楼宇自动化系统”
2	高层建筑自动化系统 (BAS) 的整体功能及其采用与设计原则	
2.1	建筑自动化系统的含义和整体功能（据 GJ/T16—92）	建筑自动化系统是将建筑或建筑群内的电力、照明、空调、防火、保安、运输、通信等设备以集中监视、控制和管理为目的而构成的一个综合系统 建筑自动化系统的整体功能为： ① 对建筑设备实现以最佳控制为中心的过程控制自动化 ② 以运行状态监视和积算为中心的设备管理自动化 ③ 以安全状态监视为中心的防灾自动化 ④ 以节能运行为中心的能源管理自动化

(续)

序号	项目	说明
2.2	建筑自动化系统的采用与规划设计的一般原则 (据 JGJ/T16-92)	<p>① 建筑自动化系统的采用与规划设计, 必须考虑国情, 从具体工程实际出发, 持慎重态度, 在充分调研的基础上, 细致地进行可行性论证, 避免盲目性</p> <p>② 可行性论证包括:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. 技术上的可行性分析 b. 经济上的可行性分析 c. 管理体制上的可行性分析 <p>③ 下列各点宜作为可行性论证的综合依据:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. 特别重要的、并且具有一定规模的建筑, 为保证其所属设备及安全系统具有较高的可靠性要求时宜采用 b. 建筑自动化系统的一次投资能控制在建筑总投资的 2% 以下时可采用 c. 由于采用优化控制及能源管理程序, 因此对于能耗较大的 (如数万平方米以上的) 全空调建筑, 若初投资的回收期低于 5 年时宜采用。全空调建筑采用能源管理程序每年节省运行费用可按 10%~15% 计算 d. 多功能的大型租赁建筑宜采用 e. 当设备的控制和管理工作程序复杂, 难以用人工-手动方式完成, 而必须依赖计算机程序完成时宜采用 f. 当采用建筑自动化系统, 其投资和可靠性综合指标优于其它可用的系统时宜采用 <p>④ 规划与设计建筑自动化系统时所纳入的服务功能, 必须与管理体制相适应。当将某些要求“独立设置”的系统——尤其是安全系统作为子系统综合在建筑自动化系统之内时, 须注意在结构上满足管理体制的要求, 并应征得业务主管部门的认可</p> <p>⑤ 建筑自动化系统的硬件和软件的组成, 可视具体情况选用国际、国内已推出的系列产品, 或者自行开发设计。也可将已逐步建立的、各自独立的分散型计算机控制系统有机地综合为建筑自动化系统。整个系统亦可考虑合理规划、分期建立。无论采用何种组建方案, 均需具有一定的可变性, 即: a. 系统功能扩展的可能性与适应性; b. 控制与管理方案改变时编程的易行性; c. 硬件与软件进入或退出系统的方便性</p> <p>⑥ 建筑自动化系统的规划、设计与建造必须具有下列的各种“保证”:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. 组织保证: 该系统必须实现人-机联系。对系统的操作员必须提供操作员手册, 而且所设计的系统应提供菜单显示, 实现交互工作方式, 使操作员的日常性操作能依据屏幕上的“操作指示”在键盘上进行, 且应提供脱机练习的功能。对系统的程序员必须提供程序员手册, 详细说明应用程序的修改与开发方法, 并且应提供开发使用的设备和操作指南, 一般至少应有一种高级语言能为系统开发所使用 b. 信息保证: 技术信息 (包括设备运行状态、技术参数、报警信号等) 必须有统一的表示方法, 报文应有清晰统一的格式, 而且应提供建立信息库的工具和方法 c. 技术保证: 系统硬件的组成 (包括计算机及其外围设备、检测与执行元件和其它配套设备以及将这些设备按一定网络结构连接为整体的物理介质) 必须为建筑自动化系统对设备实现监控功能提供物质基础。系统及其主要部件应具有可维修性 d. 数学保证: 在应用程序中应提供必要的数学方法、数学模型和控制算法 e. 程序保证: 除必备的系统软件外, 还必须提供保证功能实现的足够数量的应用软件 f. 语言保证: 系统中使用的技术术语应有统一规定。如分布式系统按将分散组建的分散式系统连网组成的方案构成时, 最初的规划即应保证各分散系统使用统一的汇编语言与高级语言。报警及状态显示与打印所用的自然语言, 宜采用汉字与英文兼容任选方式。如受条件限制, 允许只用英文 g. 法律保证: 系统中各子系统的建立与运行规则, 必须符合已经生效的国家和地方的规定、规程、规范与法规 h. 工效学保证: 系统的运行应保证人在系统中的活动效率最高, 不出差错, 并有益于人的身心健康 i. 系统的可靠性保证: 系统必须有保证可靠运行的自检试验与故障报警功能, 包括交流电源故障报警、通信故障报警、接地故障报警、外围设备控制单元故障报警等。所有报警均应在中央站的主操作台 CRT 屏幕上给出标准格式报告 (时间、代码、文字描述短语以及处理指示), 并附有必要的声和 (或) 光显示; 故障消除后, 应给出恢复正常的标准格式报告 <p>⑦ 在系统规划与设计中, 必须强化节能意识, 把能源供应管理程序及主动节能控制程序的采用列为主要内容</p>

(续)

序号	项目	说 明
3	高层建筑自动化系统 (BAS) 的服务功能和网络结构	
3.1	建筑自动化系统的服务功能 (据 JGJ/T16-92)	<p>建筑自动化系统的基本服务功能, 应通过对建筑物内各类设备的运行集中监控和管理来实现:</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 确保建筑物内环境舒适 ② 提高建筑物及其内部人员与设备的整体安全水平和灾害防御能力 ③ 通过优化控制提高工艺过程控制水平, 节省能源消耗, 减轻劳动强度 ④ 提供可靠的、经济的最佳能源供应方案, 实现能源管理自动化 ⑤ 不断地、及时地提供设备运行状态的有关资料、报表, 进行集中分析, 作为设备管理决策的依据, 实现设备维护工作的自动化
3.2	建筑自动化系统网络结构的规划原则 (据 JGJ/T16-92)	<p>建筑自动化系统网络结构的规划应符合下列原则:</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 满足集中监控的需要 ② 与系统规模相适应 ③ 尽量减小故障波及面, 实现“危险分散” ④ 减少初投资 ⑤ 系统扩展易于实现
3.3	建筑自动化系统网络结构的选用要求 (据 JGJ/T16-92)	<ul style="list-style-type: none"> ① 宜优先考虑采用共享总线形的网络拓扑结构 ② 环形及多总线结构为可选结构, 但必须符合序号 3.2 所规定的原则
3.4	建筑自动化系统的子系统 (据 JGJ/T16-92)	<p>建筑自动化系统, 宜区分两个子系统:</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 设备运行管理与控制子系统, 包括: <ul style="list-style-type: none"> a. 供热、通风及空气调节系统 b. 给水 (含冷水、热水、饮用水) 与排水系统 c. 配变电与自备电源等电力供应设备系统 d. 照明设备系统 e. 其它一切需要纳入系统实现集中监控的对象系统 <p>凡已设置的独立系统, 如电梯控制系统、广播系统、有线电视系统等, 宜根据需要将其工作状态监视及紧急状态下的越级控制权赋予建筑自动化系统的监控中心 (参看本表序号 4.5 的图)</p> <ul style="list-style-type: none"> ② 防火与保安子系统, 包括: <ul style="list-style-type: none"> a. 火灾报警与消防控制系统 b. 人员出入监控系统 c. 保安巡更系统 d. 防盗报警系统 e. 其它一切需要保安监控的系统 (如抗震、防冻等) <p>基于管理体制可行性原则, 防火与保安宜独立构成系统, 专设“控制中心”</p>
3.5	对象系统的监控点类型 (据 JGJ/T16-92)	<p>依监控性质, 对象系统的监控点宜划分为如下三类:</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 显示型 <ul style="list-style-type: none"> a. 设备即时运行状态检测与显示 (包括单检、单显和巡检、连显), 含模拟量数值显示及开关量状态显示 b. 报警状态检测与显示, 含运行参数超限报警、设备运行故障报警及火灾、非法闯入与防盗报警 c. 其它需要进行显示监视的情况

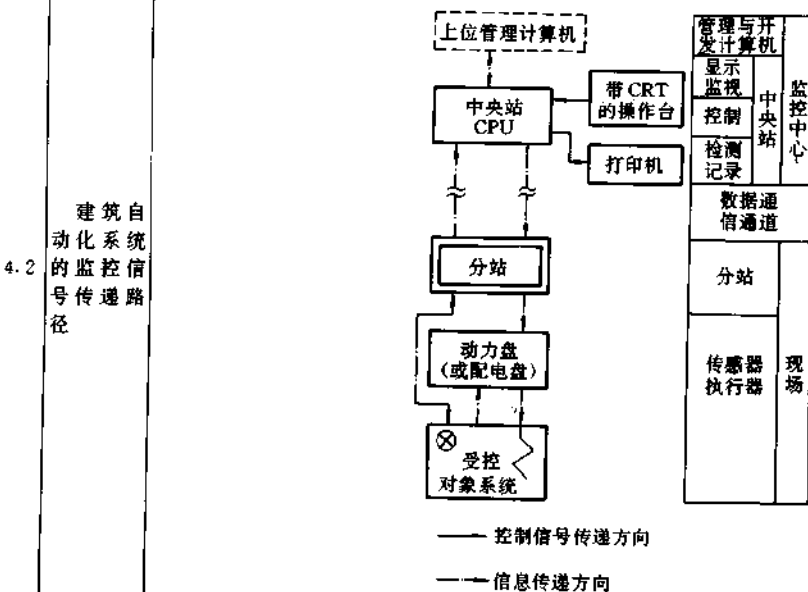
(续)

序号	项目	说明
3.5	对象系统的监控点类型 (据 JGJ/T16—92)	<p>② 控制型</p> <p>a. 设备节能运行控制</p> <p>b. 直接数字控制, 包括各种简单的、高级的、优化的、智能的控制算法的选用</p> <p>c. 设备投运程序控制, 含按日、时、分、秒设置的设备投运和关断的时间程序控制, 按工艺要求或能源供给的负荷能力而设置的顺序投运控制及设备起、停的运动控制</p> <p>③ 记录型</p> <p>a. 状态检测与汇总表输出, 应区分为: 只有状态检测, 并在“状态汇总表”上输出; 只进行“正常”或“报警/正常汇总表”上输出及同时进行状态与是否报警检测, 若检测到“报警”状态, 则在上述的两个汇总表上输出</p> <p>b. 积算记录及报表生成, 含: 运行趋势记录输出, 积算报表形成, 包括运行时间积算记录、动作次数积算记录、能耗 (电、水、热) 记录等; 显示监视中发现的有价值的的数据与状态的记录及需要的日报、月报表格的生成</p> <p>c. 巡查过程的记录, 某些监控点具有两种以上监控需要, 则需划归为“复合型”。对复合型监控点的监控功能须按以上三种 (显示、控制、记录) 类型分别规划, 需要时分别计算点数</p>

4 建筑自动化系统的规模区分及结构形式

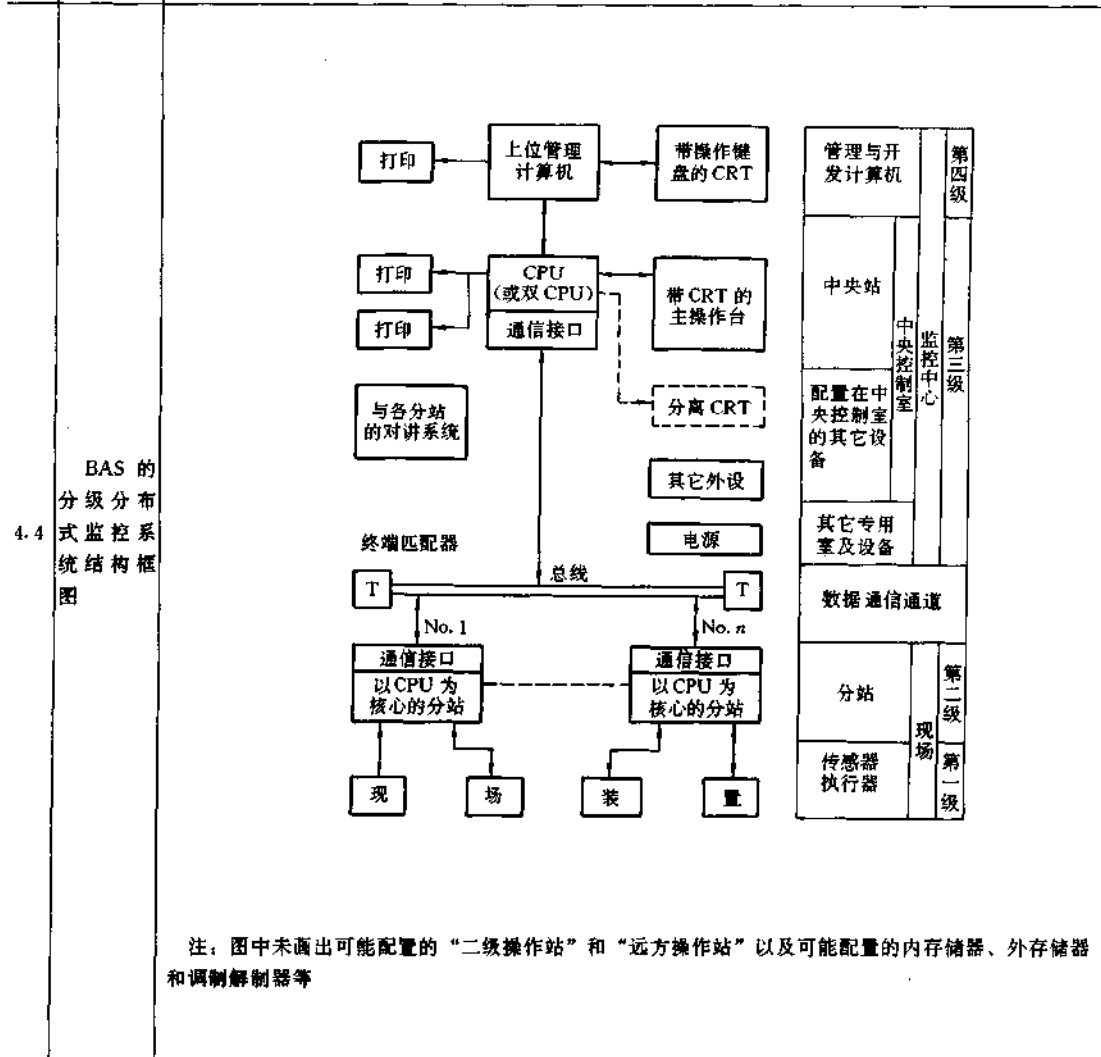
4.1	建筑自动化系统规模的区分 (据 JGJ/T16—92)	建筑自动化系统应按下表之规定区分其规模, 并据此按不同规模的有关规定进行系统的规划与设计	
		BA 系统规模的区分	
		系统规模	监控点数 (个)
		小型系统	40 及以下
		较小型系统	41~160
		中型系统	161~650
		较大型系统	651~2500
		大型系统	2500 以上

中型以上系统, 无论采用何种网络结构, BA 系统对某一监控点实施监控的信号传递路径, 应符合下图所示的模式

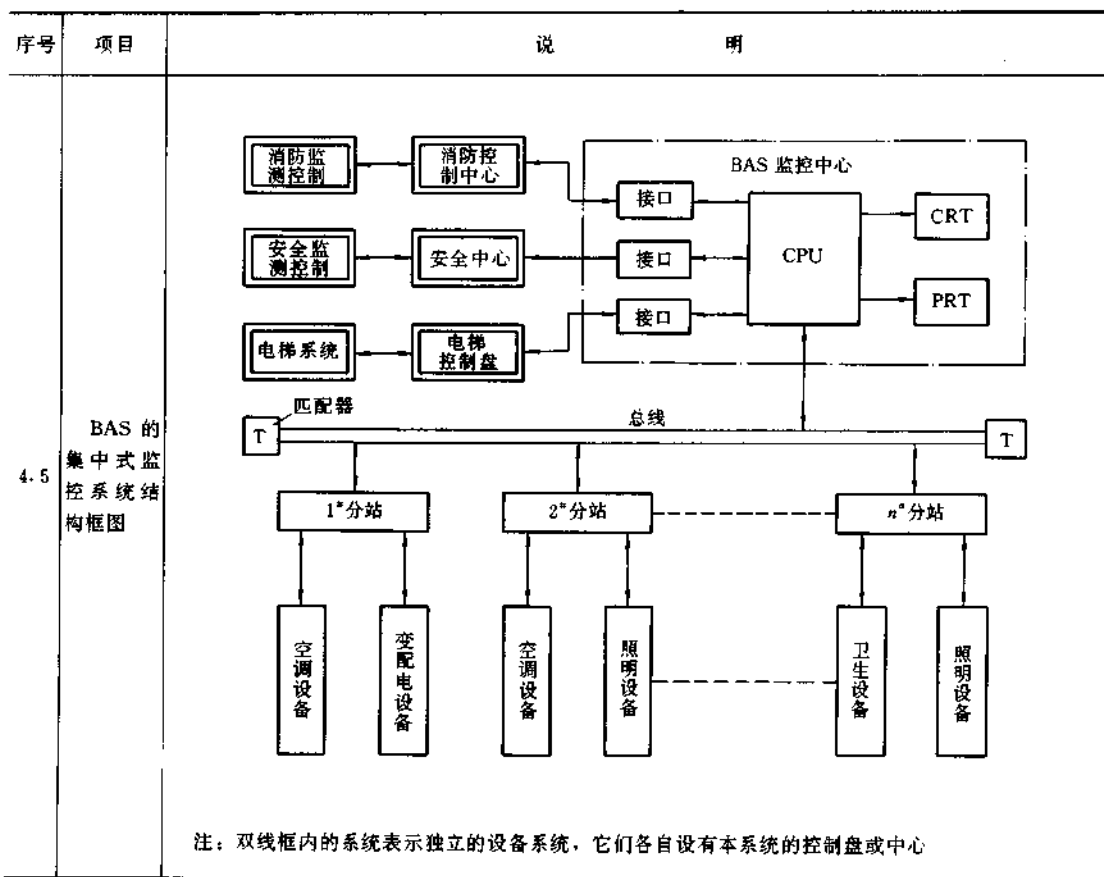


(续)

序号	项目	说明
4.3	各种规模BAS的监控系统结构形式 (据 JGJ/T16-92)	<p>① 大型和较大型系统的分站, 必须设置在其所属受控对象系统的附近, 使之成为现场工作站; 以一台微处理机为核心, 按规划实现全部监控功能; 分站与中央站之间实现数据通信; 分站之间亦应实现直接数据通信。这种分级分布式的结构, 如本表序号 4.4 图所示</p> <p>② 对于统一管理建筑群或特大建筑物, 当其设备数量很多, 而配置又极为分散时, 宜采用多个微型中心站 (具有多个如本表序号 4.4 图所示的第三级以下的结构), 并通过网桥或网关进行互连, 组成多域网</p> <p>③ 中型系统和设备布置分散的较小型系统, 宜采用分级分布式监控系统。但当受到投资、使用、维护水平限制时, 亦可采用集中式结构, 即中央站采用计算机监控, 分站不设 CPU (参看序号 4.5 图); 分站采用功能模块式结构, 以完成数据采集、转换与传递功能为主; 可具有对所属设备进行起、停控制和参数调节的功能</p> <p>④ 小型系统和布置比较集中的较小型系统, 宜采用集中式结构, 即仅设一台微型计算机 (不设分站) 对现场的多种装置实施监控, 组成单机多回路系统</p>



(续)



(七) 二次回路的接线及安装图的绘制

1. 二次回路的接线要求 如表 ZY8-19 所示。

表 ZY8-19 二次回路的接线要求 (据 GB50171—92)

序号	项目	说明
1	二次回路接线的基本要求	<ul style="list-style-type: none"> ① 按图施工，接线正确 ② 导线与电气元件间采用螺栓连接、插接、焊接或压接等，均应牢固可靠 ③ 盘、柜内的导线不应有接头，导线芯线应无损伤 ④ 电缆芯线和所配导线的端部均标明其回路编号，编号应正确，字迹清晰且不易脱色 ⑤ 配线应整齐、清晰、美观，导线绝缘应良好，无损伤 ⑥ 每个接线端子的每侧接线宜为 1 根，不得超过 2 根。对于插接式端子，不同截面的两根导线不得接在同一端子上；对于螺栓连接端子，当接两根导线时，中间应加平垫片 ⑦ 二次回路接地应设专用螺栓
2	盘、柜内二次回路导线的要求	<ul style="list-style-type: none"> ① 应采用电压不低于 500V 的铜芯绝缘导线 ② 电流回路的铜芯绝缘导线截面不应小于 2.5mm²，其它回路截面不应小于 1.5mm² ③ 对于电子元件回路、弱电回路，当采用锡焊连接时，在满足载流量和电压降及有足够机械强度的情况下，可采用不小于 0.5mm² 截面的铜芯绝缘导线

(续)

序号	项 目	说 明
3	可动部位的二次回路导线要求	<p>用于连接门上的电器、控制台板等可动部位的导线除应符合序号 2 所列要求外,尚应符合下列要求:</p> <p>① 应采用多股软导线,敷设长度应有适当裕度</p> <p>② 线束应有外套塑料管等加强绝缘层</p> <p>③ 与电器连接时, 端部应绞紧, 并应加终端附件或搪锡, 不得松散、断股</p> <p>④ 在可动部位两端应用卡子固定</p>
4	引入盘、柜的电缆及其芯线的要求	<p>① 引入盘、柜的电缆应排列整齐, 编号清晰, 避免交叉, 并应固定牢固, 不得使所接的端子排受到机械应力</p> <p>② 铠装电缆在进入盘、柜后, 应将钢带切断, 切断处的端部应扎紧, 并应将钢带接地</p> <p>③ 使用于静态保护、控制等逻辑回路的控制电缆, 应采用屏蔽电缆, 其屏蔽层应按设计要求的接地方式予以接地</p> <p>④ 橡胶绝缘的芯线应设外套绝缘管保护</p> <p>⑤ 盘、柜内的电缆芯线, 应按垂直或水平方向有规律地配置, 不得任意歪斜交叉连接。备用芯长度应留有适当余量</p> <p>⑥ 强、弱电回路不应使用同一根电缆, 并应分别成束分开排列</p>
5	二次回路导线、电缆的其它要求	<p>① 直流回路中具有水银接点的电器, 电源正极应接到水银侧接点的一端</p> <p>② 在油污环境, 应采用耐油的绝缘导线</p> <p>③ 在日光直射环境, 橡胶或塑料绝缘导线应采取防护措施</p>

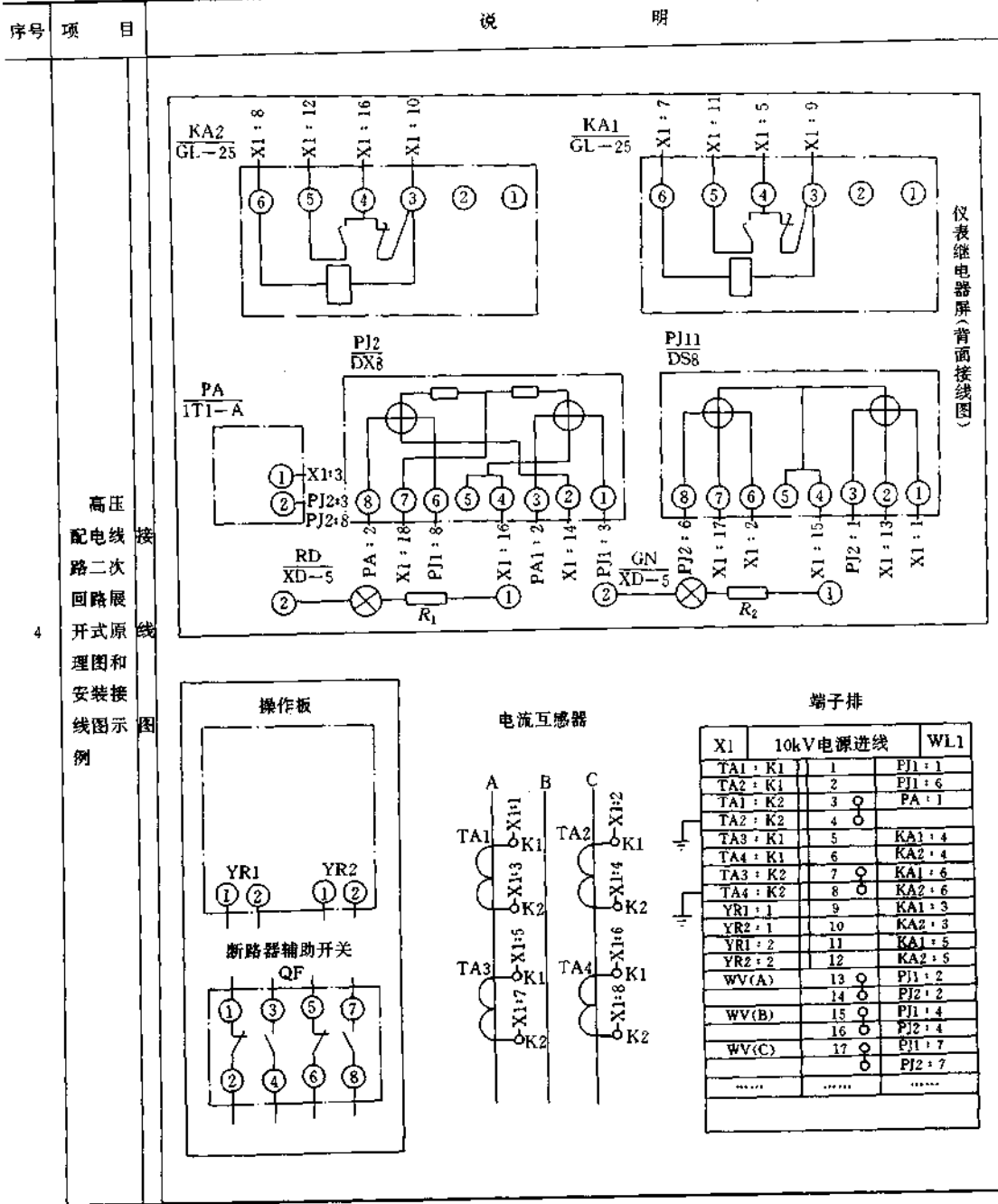
2. 二次回路安装图纸的类别及其绘制 如表 ZY8-20 所示。

表 ZY8-20 二次回路安装图样的类别及其绘制

序号	项 目	说 明
1	二次回路安装图纸的类别	<p>① 原理接线图, 或称“原理电路图”, 通常有两种绘制形式: a. 集中表示式, 如表 ZY8-16 序号 5.1 图 a 所示, 通常称为“归总式原理图”, 简称“原理图”。b. 分开表示式, 如表 ZY8-16 序号 5.1 图 b 所示, 通常称为“展开式原理图”, 简称“展开图”</p> <p>② 安装接线图, 或称安装接线图。按 GB6988—86《电气制图》定义, 接线图是“表示成套装置、设备或装置的连接关系, 用以进行接线和检查的一种简图”(参看表 JC4-1 序号 37)。因此安装接线图可简称“接线图”, 这里必须注意:“接线图”不能写作“结线图”。“结线图”是“电路图”, 而“接线图”是“安装图”, 两者不容混淆。过去, 结线图与接线图是混用的</p>
2	二次回路原理结线图的绘制方法	<p>二次回路原理结线图绘制的方法, 应按 GB6988.4—86《电气制图·电路图》的规定, 如表 JC4—27 所示; 而其中连接线的绘制方法, 应按 GB6988.2—86《电气制图·一般规则》有关的规定, 如表 JC4-25 所示</p> <p>展开式原理结线图(展开图)的绘制方法, 主要要注意以下几点:</p> <p>① 二次设备的各组成部件(线圈、触点等)要分别绘在相应的回路内, 按照电流流经的先后顺序从左到右排列成行, 行与行之间也尽量按动作的先后顺序由上往下排列。为了便于阅读和分析, 一般在展开图的右边, 对应地标明每行或每组回路的名称或用途, 如表 ZY8-15 序号 5.1 图所示</p> <p>② 同一二次设备的所有部件在同一展开图上应标以同一文字符号。例如表 ZY8-15 序号 5.1 图中的中间继电器, 无论其电压线圈、电流线圈、常开触点、常闭触点, 均标以同一文字符号 KM。为了便于分析, 各对触点两端可标以数字 1 与 2、3 与 4、……而其电压线圈, 应在图形符号内标上“U”, 电流线圈, 标上“I”。因此在原理图的分析叙述中, 其触点可标为 KM1-2、KM3-4……等, 而其电压线圈可标为 KM(U), 电流线圈可标为 KM(I)</p> <p>③ 所有二次设备的可动部分通常应表示在非激励或不工作的状态或位置。事故、备用、报警等开关应表示在设备正常使用时的位置; 如在特定位置时, 则应在图上说明</p> <p>④ 所有图形符号和文字符号, 应采用最新国家标准。国家标准中没有的符号, 应按国家标准规定的原则进行派生, 如表 JC4-21 所述。旧国标 GB315—64《电力系统图上的回路标号》从新国标 GB6988—86《电气制图》实施以后, 已经废止, 应不再采用</p>

(续)

序号	项 目	说 明
3	二次回路安装接线图的绘制方法	<p>二次回路安装接线图绘制的方法,应按 GB6988.5—86《电气制图·接线图和接线表》的规定,如表 JC4-28 所示;而其中连接线的绘制方法,也应按 GB6988.2—86《电气制图·一般规则》有关的规定,如表 JC4-25 所示</p> <p>二次回路接线图的绘制方法,主要要注意以下几点:</p> <p>① 接线图上各二次设备的位置,应与实际的装设位置基本一致。但由于二次设备装在屏的正面,而其二次接线又在屏的背面,因此二次回路的接线图是绘制屏的背视图</p> <p>② 接线图上二次设备的外廓应尽量与实际大体相符,但不必按比例绘制;其设备的内部结线,可绘也可不绘,但其接线端子必须绘出</p> <p>③ 接线图上的二次设备、接线端子及连接线等,均应按最新国家标准 GB4728 和 GB6988 的规定进行标注和标号,如表 JC4-28 所示</p>
4	高压配电线路二次回路展开式原理图和安装接线图示例	<p>The diagrams illustrate various secondary circuit configurations:</p> <ul style="list-style-type: none"> Current Measurement Circuit: Shows two current transformers (TA1, TA2) connected to relays (PJ1, PJ2) through current coils (K1, K2). A third transformer (TA3) is connected to a relay (PA). Overcurrent Protection Circuit: Shows two current transformers (TA3, TA4) connected to relays (KA1, KA2) through current coils (K1, K2). Relays (KA1, KA2) are connected to fuses (YR1, YR2). Voltage Measurement Circuit: Shows three potential transformers (WV(A), WV(B), WV(C)) connected to relays (PJ1, PJ2) through potential coils. Signal Circuit: Shows a circuit breaker (QF) connected to fuses (R1, R2) and lamps (RD, GN) through a signal circuit.



主要参考文献

- 1 刘介才编. 工厂供电 (第2版). 北京: 机械工业出版社, 1991
- 2 刘介才主编. 工厂供电简明设计手册. 北京: 机械工业出版社, 1991
- 3 刘从爱, 徐中立主编. 电力工程. 北京: 机械工业出版社, 1992
- 4 吕光大主编. 建筑电气安装工程图集. 北京: 水利电力出版社, 1987

- 5 中国航空工业规划设计研究院等编. 工业与民用配电设计手册 (第2版). 北京: 水利电力出版社, 1994
- 6 陈一才编著. 高层建筑电气设计手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990
- 7 中国建筑西南设计研究院刘启彬. 楼宇自动化 (BAS) 应用的探讨. 1994 年建筑电气年会论文, 1994
- 8 本手册编写组编. 工厂常用电气设备手册 (补充本). 北京: 水利电力出版社, 1990
- 9 国家标准 GB50062—92 电力装置的继电保护和自动装置设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1992
- 10 国家标准 GBJ63—90 电力装置的电测仪表装置设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1991
- 11 国家标准 GB50055—93 通用用电设备配电设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1994
- 12 国家标准 GB50171—92 电气装置安装工程. 盘柜及二次回路结线施工及验收规范. 北京: 中国计划出版社, 1993
- 13 行业标准 JGJ/T16—92 民用建筑电气设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1993
- 14 行业标准 JBJ6—96 机械工厂电力设计规范. 北京: 机械工业出版社, 1997
- 15 中国大百科全书电工编委会编. 中国大百科全书 电工卷. 北京、上海: 中国大百科全书出版社, 1992
- 16 贺天枢, 赵叔玉主编译. IEC 电工电子标准术语词典. 北京: 中国标准出版社, 1992

九、电气安全、接地与防雷 (ZY9)

(一) 有关电气安全、接地与防雷的名词术语

有关电气安全、接地与防雷的名词术语，如表 ZY9-1 所示。

表 ZY9-1 有关电气安全、接地与防雷的名词术语

序号	名 词 术 语	含 义 说 明
1	电气事故 electric accident	指由电流、电磁场、雷电、静电和某些电路故障等直接或间接造成建筑设施、电气设备损坏，人兽伤亡，以及引起火灾和爆炸等后果的事件
2	触电，电击 electric shock	指电流通过人体或动物体而引起的病理、生理效应
3	触电电流 shock current	指通过人体或动物体并具有可能引起病理、生理效应特征的电流
4	感知（电流）阈值 threshold of perception current	指在给定条件下，电流通过人体，可引起任何感觉的最小电流值
5	摆脱（电流）阈值 threshold of let-go current	指在给定条件下，手握着带电导体的人能够摆脱的最大电流值
6	致颤（电流）阈值 threshold of ventricular fibrillation current	指在给定条件下，引起心室纤维性颤动的最小电流值
7	故障电流 fault current	指由绝缘损坏或绝缘被短接而造成的电流，或称“事故电流”
8	人体总阻抗 total impedance of the human body	指人的体内阻抗与皮肤阻抗之和
9	安全电流 safety current	指人体触电后最大的摆脱电流，我国规定为 30mA (50Hz)，但这是触电时间不超过 1s 的电流值，因此这安全电流值也称为 30mA · s
10	安全特低电压 safety extra-low voltage (SELV)	指在用安全隔离变压器或具有独立绕组的变流器与供电干线隔离开的电路中，导体之间或任何一个导体与地之间有效值不超过 50V 的交流电压。又称“安全超低压”
11	对地电压 voltage to earth	指带电体与大地之间的电位差（大地电位为零）
12	过电压 overvoltage	指超过额定电压的电压
13	直接接触 direct contact	指人或动物与带电部分的接触
14	直接接触防护 protection against direct contact	指防止直接接触正常带电部分的防护，例如对带电部分加隔离栅栏或加保护罩等。又称“基本保护”
15	间接接触 indirect contact	指人或动物与故障情况下可变为带电的外露可导电部分的接触

(续)

序号	名 词 术 语	含 义 说 明
16	间接接触防护 protection against indirect contact	指防止接触正常不带电而故障时可变为带电的外露可导电部分的防护, 例如将正常时不带电的外露可导电部分接地等。又称“附加保护”
17	导电部分 conductive part	指能导电但不一定承载工作电流的部分
18	带电部分 live part	指正常使用时被通电的导体或导电部分, 它包括中性导体 (N 导体), 但按惯例, 不包括保护中性导体 (PEN 导体)
19	外露可导电部分 exposed conductive part	指电气设备能被触及的导电部分, 它在正常时不带电, 但在故障情况下可能带电
20	装置外导电部分 outside conductive part	指不属于电气装置一部分的可导电部分, 它可能引入电位, 一般是在故障情况下引入的不为零的地电位 (这电位由于地中电流引起)
21	接触电压 touch voltage	指人体同时触及导电部分的两部分之间意外出现的电位差, 通常是人手与脚之间的电位差
22	跨步电压 step voltage	指人站在有电流流过的大地上, 加在两只脚之间的电压, 这一“跨步”对人通常按 0.8m 计
23	安全距离 safe distance	指为了防止人体触及或接近带电体, 防止车辆或其它物体碰撞或接近带电体等造成的危险, 在其间所需保持的一定空间距离
24	安全标志 safety marking	指由安全色、几何图形、图形符号和文字构成的标志, 用以表达特定的安全信息
25	安全色 safety colour	指表达安全信息的颜色。GB2893—82《安全色》规定: 红色表示禁止、停止; 黄色表示警告、注意; 蓝色表示指令、必须遵守的规定; 绿色表示提示、安全状态和通行
26	工作接地 working earthing	指为了电路或设备达到运行要求的接地, 例如变压器中性点的接地等
27	保护接地 protective earthing (PE)	指为保障人身安全而将在故障情况下可能出现危险对地电压的导电部分与大地紧密连接起来的接地
28	故障接地 fault earthing	指导体与大地的意外连接。当连接的阻抗小到可以忽略时, 这种连接称为“完全接地”
29	重复接地 iterative earth	指保护中性导体 (PEN 导体) 上一处或多处通过接地装置与大地再次连接的接地
30	接地体 earthing body	指埋入地中并直接与大地接触的金属导体。又称“接地极”
31	自然接地体 natural earthing body	指可利用作为接地用的直接与大地接触的各种金属构件、金属井管、钢筋混凝土建筑的基础、金属管道和设备等
32	人工接地体 manual earthing body	指专门为接地而装设的接地体
33	接地线 earthing wire	指电气设备、杆塔的接地螺栓与接地体连接用的在正常情况下不载流的金属导体

(续)

序号	名 词 术 语	含 义 说 明
34	接地装置 earthing device	接地体和接地线的总称
35	接地电阻 earthing resistance	指被接地体与地下零电位面的接地极之间的接地线电阻、接地极电阻、接地极与土壤之间的过渡电阻和土壤的泄流电阻之和。接地电阻的数值等于接地装置对地电压与通过接地体流入地中电流的比值
36	工频接地电阻 power frequency earthing resistance	指按通过接地体流入地中的工频 (50Hz) 电流求得的电阻
37	冲击接地电阻 shock earthing resistance	指雷电流经接地装置泄放入地时的接地电阻
38	零线 null line	指与变压器或发电机直接接地的中性点连接的保护中性线 (参看表 JC12-1 序号 43)
39	接零 null connection	指中性点直接接地的低压电力网中, 电气设备外壳与零线的直接连接
40	固定式设备 stationary equipment	指牢固安装在支座 (支架) 上的设备, 或用其它方式固定在一定位置上的设备
41	移动式设备 portable equipment	指工作时移动的设备, 或在接有电源时能容易地从一处移至另一处的设备
42	手携式设备 hand-held equipment	指正常使用时要用手握住的移动式设备, 其中的电动机 (如有) 是该设备的一个组成部分
43	I 类电气设备 grade I electrical equipment	指按 GB/T12501—92《电气和电子设备按防触电保护的分类》, 除靠基本绝缘防止电击 (触电) 外, 还需将易触及的外露导体连接到 PE 线上, 当基本绝缘失效时, 外露导体一般不致带危险电位的用电设备
44	电气隔离 electric isolate	指为防止电击而将一电气器件或电路与另外的电气器件或电路完全断开的安全措施
45	等电位联结 equipotential bonding	指使各个外露可导电部分及装置外导电部分的电位作实质上相等的电气连接
46	总等电位联结 main equipotential bonding	指在建筑物电源线路进线处, 将 PE 干线、接地干线、总水管、采暖和空调立管以及建筑物金属构件等相交互电气连接
47	局部等电位联结 partial equipotential bonding	指某一局部范围内的等电位联结, 又称“辅助等电位联结”
48	过电流保护 overcurrent protection	指电流超过预定值时, 使保护装置动作的一种保护方式
49	过电压保护 overvoltage protection	指电压超过预定值时, 使电源断开或使受控设备电压降低的一种保护方式
50	断相保护 open-phase protection	指依靠多相电路的一相导线中电流的消失而断开被保护设备或依靠多相系统的一相或几相失压来防止将电源施加到被保护设备上的一种保护方式

(续)

序号	名词术语	含义说明
51	雷电过电压 lightning overvoltage	指雷电放电在系统中引起的相对地或相间过电压。这种过电压通常为单极性,且持续时间很短,实际波形有很大分散性。在作绝缘配合时,可采用标准波形或与标准波形相似的波形
52	操作过电压 switching overvoltage	指由于开关操作、负荷突变等原因在系统中引起的相对地或相间过电压。这种过电压一般持续时间短,衰减快。由于其波形差别很大,在作绝缘配合时,可采用标准波形或与标准波形相似的波形
53	暂时过电压 temporary over voltage	指由于系统中的操作、故障(如甩负载、单相接地)或非线性(铁磁效应、谐振)引起的过电压。可用其幅值、振荡频率、总持续时间或衰减来表示。这种过电压虽为短时存在,但持续时间较其它类型过电压长,不衰减或弱衰减
54	直击雷 direct struck lightning	指雷电直接击在线路、设备或建筑物上,产生电效应、热效应和机械效应者
55	雷感应 lightning induction	指雷电放电时,在附近导体上产生的静电感应和电磁感应,它可能使金属部件之间产生火花
56	雷电波侵入 invasion of lightning impulse	指由于雷电对架空线路或金属管道的作用,雷电波可能沿着这些管线侵入屋内,危及人身安全或损坏设备
57	接闪器 receive lightning device	指直接接受雷击的避雷针、避雷线、避雷带(网)以及用作接闪的金属屋面和金属构件等
58	过电压保护器 over voltage protection device	指用来限制存在于某两物体之间的冲击过电压的一种设备,如放电间隙、避雷器或半导体器具
59	防雷装置 lightning protection device	指接闪器、引下线、接地装置、过电压保护器及其它连接导体的总合
60	避雷器 surge arrester	指保护电气设备免受瞬态过电压的危害,限制续流的持续时间和幅值的一种电器
61	阀式避雷器 valve type surge arrester	指由若干非线性电阻的阀片或阀片与串联间隙所组成的避雷器。由阀片与串联的非磁吹火花间隙所组成的避雷器,称为“普通阀式避雷器”。由阀片与串联的磁吹火花间隙所组成的避雷器,称为“磁吹阀式避雷器”
62	排气式避雷器 expulsion-type surge arrester	指利用灭弧腔内电弧与产气材料接触所产生的气体来切断续流的避雷器。曾称“管式避雷器”
63	保护间隙 protective gap	指用于过电压保护的一种放电间隙,俗称“羊角式避雷器”
64	金属氧化物避雷器 metal-oxide surge arrester	指一种没有火花间隙只有由氧化锌或氧化铋等金属氧化物烧结而成的压敏电阻片的避雷器,又称“压敏避雷器”。此种避雷器实质为一种无火花间隙的阀式避雷器
65	雷暴日 thunderstorm date	指有雷电活动的日子,包括看到雷闪和听到雷声。由当地气象部门统计的多年雷暴日的年平均值,称为“年平均雷暴日数”
66	少雷区 minor-lightning area	指年平均雷暴日数不超过 15 天的地区

(续)

序号	名词术语	含义说明
67	多雷区 multi-lightning area	指年平均雷暴日数超过 40 天的地区
68	滚球法 roll-ball method	指一种确定接闪器保护范围的方法。它是以 h_r 为半径的一个球体, 沿着需要防直击雷的部位滚动, 当球体只触及接闪器 (包括被利用作为接闪器的金属物), 或只触及接闪器和地面 (包括与大地接触并能承受雷击的金属物), 而不触及需要保护的部位时, 则该部位就得到接闪器的保护。我国新颁国标 GB50057—94《建筑物防雷设计规范》采用了 IEC 推荐的这种确定接闪器保护范围的方法

(二) 电气安全知识

1. 保证电气安全的一般措施 如表 ZY9-2 所示。

表 ZY9-2 保证电气安全的一般措施

序号	项目	说明
1	大力加强安全教育	安全生产, 人人有责。各级领导要以身作则, 充分发动群众, 依靠群众, 搞好安全生产, 人人树立“安全第一”的观点, 个个都作安全教育工作, 力争供电系统无事故地运行, 彻底消灭人身触电事故
2	执行安全工作规程	必须建立和健全规章制度, 特别要贯彻执行《电业安全工作规程》。按 DL408—91《电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)》规定: 电气工作人员对本规程应每年考试一次。因故间断电气工作连续三个月以上者, 必须重新温习本规程, 并经考试合格后, 方能恢复工作。任何工作人员发现有违反本规程, 并足以危及人身和设备安全者, 应立即制止
3	确保设计安装质量	供电工程的设计、安装质量, 对供电系统的安全运行, 关系极大。设计必须遵守有关设计规范, 安装必须遵守有关安装工程施工及验收规范。如果设计不合理, 或者安装不合要求, 将给供电系统的运行维护带来很多麻烦, 增加事故的可能性
4	加强运行维护工作	加强日常的运行维护工作和定期的检修试验工作, 对于保证供用电设备和系统的安全运行, 也具有很重要的作用。这有助于消除隐患, 防患于未然
5	采用安全电压	在容易触电的场所, 使用手持电器时, 应采用符合安全要求的安全电压。在易燃、易爆场所, 应采用密闭式防爆电器
6	采用电气安全用具	在从事电气工作时, 应使用电气安全用具。电气安全用具分两类: ①基本安全用具: 其绝缘足以承受电气设备的工作电压, 操作人员必须使用它, 才允许操作带电设备, 例如操作隔离开关的绝缘钩棒、用来装拆熔断器熔管的绝缘操作手柄等。②辅助安全用具: 其绝缘不足以完全承受电气设备的工作电压的作用, 但是操作人员使用它, 可使人身安全有进一步的保障, 例如绝缘手套、绝缘靴、绝缘地毯、绝缘垫台、高压验电器、低压试电笔、临时接地线以及“禁止合闸, 有人工作”等标示牌等
7	普及安全用电知识	供电人员在注意安全供电的同时, 应注意向用户和广大群众宣传安全用电意义, 普及安全用电常识, 例如: ①不得私拉电线; ②不得超负荷用电; ③不得随意加大熔体规格; ④绝缘电线上不得晾衣物; ⑤不得在架空线路附近放风筝; ⑥不得用鸟枪或弹弓来打架空线路上的鸟; ⑦移动电器和家用电器的插座, 一般应采用带保护接地(PE)插孔的插座; ⑧发生电气失火时, 不得用水和一般泡沫灭火器灭火, 而应使用四氯化碳(CCl ₄)或二氧化碳(CO ₂)灭火器灭火, 或用干砂覆盖灭火; ⑨当高压线断落地下时, 不可走近, 应通知供电部门前来处理; ⑩如有人触电, 应首先断开电源, 然后进行规定的急救处理 (参看表 ZY9-5)

2. 安全电压 (据 GB3805—83) 如表 ZY9-3 所示。

表 ZY9-3 安全电压 (据 GB3805—83)

安全电压有效值/V		选 用 举 例
额 定 值	空 负 荷 上 限 值	
42	50	在有触电危险的场所使用的手持式电动工具等
36	43	在矿井、多导电粉尘等场所使用的行灯等
24	29	可供某些具有人体可能偶然触及的带电体设备选用
12	15	
6	8	

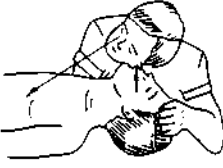
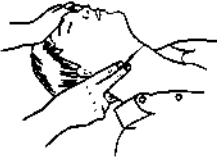
3. 安全电流 如表 ZY9-4 所示。

表 ZY9-4 安全电流

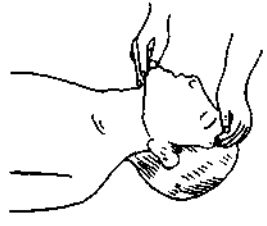
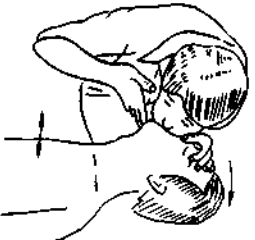
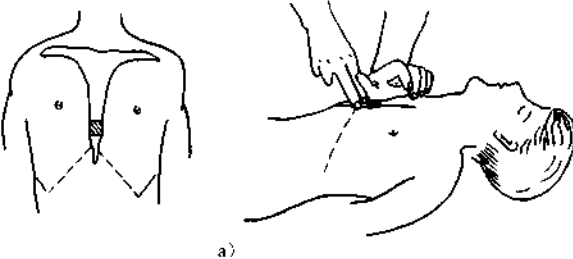
序号	项 目	说 明
1	IEC 于 1980 年提出的人体触电时间与通过人体电流 (交流 50Hz) 对人身机体反应的曲线	<p>①——人体无反应区 ②——人体一般无病理生理性反应区 ③——人体一般无心室纤维性颤动和器质性损伤区 ④——人体可能发生心室纤维性颤动区</p>
2	我国规定的安全电流值	<p>我国规定安全电流一般为 30mA (交流 50Hz), 但这是触电时间不超过 1s 的电流值, 因此这安全电流也称为 30mA · s</p> <p>研究表明, 如果通过人体的电流不超过 30mA · s 时, 对人身机体无损伤, 不致引起心室纤维性颤动和器质性损伤; 如达到 50mA · s 时, 对人就有致命的危险; 达到 100mA · s 时, 一般要致人死命</p>
3	影响安全电流值的因素	<p>① 触电时间: 由本表序号 1 图上的 Z 形曲线可以看出, 触电时间在 0.2s 以下和 0.2s 以上, 电流对人体的危害程度是大有差别的。触电时间超过 0.2s 时, 致颤电流值急剧降低</p> <p>② 电流性质: 试验表明, 直流、交流和高频电流触电对人体的危害程度各有不同, 而以 50~60Hz 的电流对人体的危害最为严重</p> <p>③ 电流路径: 电流对人体的伤害程度主要取决于心脏受损的程度。电流从手到脚特别是从一手到另一手或胸部对人最为危险</p> <p>④ 体重和体质: 健康人的心脏和衰弱的病人的心脏耐受电流的能力是大不一样的。人的心理状态、情绪好坏以及人的体重等, 也使电流对人体的伤害有差异</p>

4. 触电急救法 如表 ZY9-5 所示。

表 ZY9-5 触电急救法 (据 DL408—91)

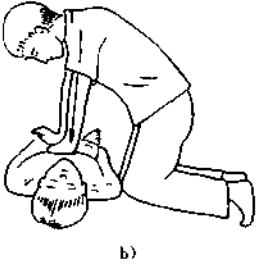
序号	项 目	说 明
1	触电急救的原则要求	<p>触电急救必须分秒必争。首先使触电者脱离电源，并立即就地迅速用心肺复苏法进行抢救，并坚持不断地进行，同时及早与医疗部门联系，争取医务人员接替救治。在医务人员未接替救治前，不应放弃现场抢救，更不能只根据没有呼吸或脉搏擅自判定触电者死亡，放弃抢救。只有医生有权做出伤员死亡的诊断</p>
2	脱离电源注意事项	<p>① 触电急救，首先要使触电者迅速脱离电源，越快越好，因为电流作用的时间越长，伤害越重</p> <p>② 在脱离电源中，救护人员既要救人，也要注意保护自己，谨防自身触电</p> <p>③ 如触电者处于高处，解脱电源后会自高处坠落，因此要采取预防措施</p> <p>④ 如触电者触及断落在地上的带电高压导线，且尚未确证线路无电，救护人员在未做好安全措施（如穿绝缘靴或临时双脚并紧跳跃地接近触电者）前，不能接近断线点至 8~10m 范围内，防止跨步电压伤人。触电者脱离带电导线后亦应迅速带至 8~10m 以外后立即开始触电急救。只有在确证线路已经无电，才可在触电者离开触电导线后，立即就地地进行急救</p> <p>⑤ 救护触电伤员切除电源时，有时会同时使照明失电，因此应考虑事故照明、应急灯等临时照明。新的照明要符合使用场所防火、防爆的要求，但不能因此延误切除电源和进行急救</p>
3	脱离电源后的处理	<p>① 触电伤员如神志清醒者，应使其就地躺平，严密观察，暂时不要站立或走动</p> <p>② 触电伤员如神志不清者，应就地仰面躺平，且确保气道通畅，并用 5s 时间，呼叫伤员或轻拍其肩部，以判定伤员是否意识丧失。禁止摇动伤员头部呼叫伤员</p> <p>③ 需要抢救的伤员，应立即就地坚持正确抢救，并设法联系医疗部门接替救治</p>
4	呼吸、心跳的判定	<p>① 触电伤员如意识丧失，应在 10s 内，用看、听、试的方法（见下图），判定伤员的呼吸、心跳情况</p> <p>a. 看：看伤员的胸部、腹部有无起伏动作；</p> <p>b. 听：用耳贴近伤员的口鼻处，听有无呼吸声音；</p> <p>c. 试：试测口鼻有无呼气的气流，再用两手指轻试一侧（左或右）喉结旁凹陷处的颈动脉有无搏动</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>看、听</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>试</p> </div> </div> <p>② 如看、听、试结果，既无呼吸又无颈动脉搏动，可判定呼吸心跳停止</p>
5	心肺复苏法	
5.1	心肺复苏的三项基本措施	<p>触电伤员呼吸和心跳均停止时，应立即按心肺复苏法支持生命的三项基本措施，正确进行就地抢救</p> <p>① 通畅气道</p> <p>② 口对口（鼻）人工呼吸</p> <p>③ 胸外按压（人工循环）</p>
5.2	通畅气道	<p>① 如发现伤员口内有异物，可将其身体及头部同时侧转，迅速用一个手指或用两手指交叉从口角处插入，取出异物</p>

(续)

序号	项 目	说 明
5.2	通畅气道	<p>② 通畅气道可采用仰头抬颏法(见图)。用一只手放在伤员前额,另一只手的手指将其下颌骨向上抬起,两手协同将头部推向后仰,舌根随之抬起,气道即可通畅。严禁用枕头或其它物品垫在伤员头下。头部抬高前倾,会加重气道阻塞,且使胸外按压时流向脑部的血流减少,甚至消失</p>  <p style="text-align: center;">仰头抬颏法</p>
5.3	口对口(鼻)人工呼吸	<p>① 在保持伤员气道通畅的同时,救护人员用放在伤员额上的手的手指捏住伤员鼻翼,救护人员深吸气后,与伤员口对口紧合,在不漏气的情况下,先连续大口吹气两次,每次1~1.5s。如两次吹气后试测颈动脉仍无搏动,可判断心跳已经停止,要立即同时进行胸外按压</p>  <p style="text-align: center;">口对口人工呼吸</p> <p>② 除开始时大口吹气两次外,正常口对口(鼻)呼吸的吹气量不需过大,以免引起胃膨胀。吹气和放松时要注意伤员胸部应有起伏的呼吸动作。吹气时如有较大阻力,可能是头部后仰不够,应及时纠正</p> <p>③ 触电伤员如牙关紧闭,可口对鼻人工呼吸。口对鼻人工呼吸吹气时,要将伤员嘴唇紧闭,防止漏气</p>
5.4	胸外按压	<p>① 正确的按压位置是保证胸外按压效果的重要前提。确定正确按压位置的步骤:</p> <ol style="list-style-type: none"> a. 右手的食指和中指沿伤员的右侧肋弓下缘向上,找到肋骨和胸骨接合处的中点 b. 两手指并齐,中指放在切迹中点(剑突底部),食指平放在胸骨下部 c. 另一只手的掌根紧挨食指上缘,置于胸骨上,即为正确按压位置(参看图a)  <p style="text-align: center;">a)</p>

1001

(续)

序号	项 目	说 明
5.4	胸外按压	<p>② 正确的按压姿势是达到胸外按压效果的基本保证。正确的按压姿势： a. 使伤员仰面躺在平硬的地方，救护人员立或跪在伤员一侧肩旁，救护人员的两肩位于伤员胸骨正上方，两臂伸直，肘关节固定不屈，两手掌根相叠，手指翘起，不接触伤员胸壁 b. 以髋关节为支点，利用上身的重力，垂直将正常成人胸骨压下3~5cm（儿童和瘦弱者酌减） c. 压至要求程度后，立即全部放松，但放松时救护人员的掌根不得离开胸壁（参看图b）</p>  <p>按压必须有效，有效的标志是按压过程中可以触及颈动脉搏动</p> <p>③ 操作频率： a. 胸外按压要以均匀速度进行，每分钟80次左右，每次按压和放松的时间相等 b. 胸外按压与口对口（鼻）人工呼吸同时进行，其节奏为：单人抢救时，每按压15次后吹气2次（15：2），反复进行；双人抢救时，每按压5次后，由另一人吹气1次（5：1），反复进行</p>
6	抢救过程中的再判定	<p>① 按压吹气1min后（相当于单人抢救时做了4个15：2压吹循环），应用看、听、试方法在5~7s时间内完成对伤员呼吸和心跳是否恢复的再判定 ② 如判定颈动脉已有搏动但无呼吸，则暂停胸外按压，而再进行2次口对口人工呼吸，接着每5s吹气一次（即每分钟12次）。如脉搏和呼吸均未恢复，则继续坚持心肺复苏法抢救 ③ 在抢救过程中，要每隔数分钟再判定一次，每次判定时间均不得超过5~7s。在医务人员未接替抢救前，现场抢救不得停止</p>
7	抢救过程中伤员的移动与转院	<p>① 心肺复苏应在现场就地坚持进行，不要为方便而随意移动伤员。如确有需要移动时，抢救中断时间不应超过30s ② 移动伤员或将伤员送往医院时，除应使伤员平躺在担架上并在其背部垫以平硬阔木板外，移动或送往医院过程中仍应继续抢救，心跳呼吸停止者要继续心肺复苏法抢救，在医务人员未接替救治前不能中止 ③ 应创造条件，用塑料袋装入碾碎冰屑作成帽状包缠在伤员头部，露出眼睛，使脑部温度降低，争取心肺脑完全复苏</p>
8	伤员好转后的处理	<p>如伤员的心跳和呼吸经抢救后均已恢复，可暂停心肺复苏法操作，但心跳呼吸恢复的早期有可能再次骤停，因此应严密监护，不要麻痹，要随时准备再次抢救 初期恢复后，神志不清或精神恍惚、躁动，应设法使伤员安静</p>

注：尚有“杆上或高处触电急救”及“对采用肾上腺素等药物应持慎重态度”的规定条款，限于篇幅从略。

5. 保证电气工作安全的组织措施和技术措施 如表ZY9-6所示。

表 ZY9-6 保证电气工作安全的组织措施和技术措施 (据 DL408—91)

序号	项 目	说 明
1	保证电气工作安全的组织措施	
1.1	工作票制度	<p>① 在电气设备上工作, 应填用工作票或按命令执行, 其方式有下列三种:</p> <p>a. 填用第一种工作票 (参看表 ZY9-7 序号 1)</p> <p>b. 填用第二种工作票 (参看表 ZY9-7 序号 2)</p> <p>c. 口头或电话命令</p> <p>② 填用第一种工作票的工作为:</p> <p>a. 高压设备上工作需要全部停电或部分停电者</p> <p>b. 高压室内的二次结线和照明等回路上的工作, 需要将高压设备停电或做安全措施者</p> <p>③ 填用第二种工作票的工作为:</p> <p>a. 带电作业和在带电设备外壳上的工作</p> <p>b. 控制盘和低压配电盘、配电箱、电源干线上的工作</p> <p>c. 二次结线回路上的工作, 无需将高压设备停电者</p> <p>d. 转动中的发电机、同期调相机的励磁回路或高压电动机转子电阻回路上的工作</p> <p>e. 非当值班人员用绝缘棒和电压互感器定相或用钳形电流表测量高压回路的电流</p> <p>④ 其它工作用口头或电话命令:</p> <p>口头或电话命令, 必须清楚正确, 值班员应将发令人、负责人及工作任务详细记入操作记录簿中, 并向发令人复诵核对一遍</p> <p>⑤ 工作票要用钢笔或圆珠笔填写一式两份, 应正确清楚, 不得任意涂改。如有个别错、漏字需要修改时, 应字迹清楚</p> <p>两份工作票中的一份必须经常保存在工作地点, 由工作负责人收执; 另一份由值班员收执, 按值移交。值班员应将工作票号码、工作任务、许可工作时间及完工时间记入操作记录簿中</p> <p>在无人值班的设备上工作时, 第二份工作票由工作许可人收执</p> <p>⑥ 一个工作负责人只能发给一张工作票。工作票上所列的工作地点, 以一个电气连接部分为限</p> <p>如施工设备属于同一电压、位于同一楼层、同时停送电, 且不会触及带电导体时, 则允许在几个电气连接部分共用一张工作票</p> <p>开工前工作票内的全部安全措施应一次做完</p> <p>建筑工、油漆工等非电气人员进行工作时, 工作票发给监护人</p> <p>⑦ 在几个电气连接部分上依次进行不停电的同一类型的工作, 可以发给一张第二种工作票</p> <p>⑧ 如一个电气连接部分或一个配电装置全部停电, 则所有不同地点的工作, 可以发给一张工作票, 但要详细填明主要工作内容。几个班同时进行工作时, 工作票可发给一个总的负责人, 在工作班成员栏内只填明各班的负责人, 不必填写全部工作人员名单</p> <p>如到预定时间, 一部分工作尚未完成, 仍须继续工作而不妨碍送电者, 在送电前, 应按照送电后现场设备带电情况, 办理新的工作票, 布置好安全措施后, 方可继续工作</p> <p>⑨ 事故抢修工作可不用工作票, 但应记入操作记录簿内, 在开始工作前必须按规定作好安全措施, 并应指定专人负责监护</p> <p>⑩ 第一种工作票应在工作前一日交给值班员。临时工作可在工作开始以前直接交给值班员</p> <p>第二种工作票应在进行工作的当天预先交给值班员</p> <p>⑪ 如变电所距离工区较远或因故更换新工作票不能在工作前一日将工作票送到, 工作票签发人可根据自己填好的工作票用电话全文传达给变电所值班员, 传达必须清楚。值班员应根据传达做好记录, 并复诵核对。如电话联系有困难, 也可在进行工作的当天预先将工作票交给值班员</p> <p>⑫ 第一、二种工作票的有效时间, 以批准的检修期为限。第一种工作票至预定时间, 工作尚未完成时, 应由工作负责人办理延期手续。延期手续应由工作负责人向值班负责人申请办理, 主要设备检修延期要通过值长办理。工作票有破损不能继续使用时, 应补填新的工作票</p>

(续)

序号	项 目	说 明
1.1	工作票制度	<p>⑬ 需要变更工作班中的成员时,须经工作负责人同意。需要变更工作负责人时,应由工作票签发人将变动情况记录在工作票上。若扩大工作任务,必须由工作负责人通过工作许可人,并在工作票上增填工作项目。若须变更或增设安全措施者,必须填用新的工作票,并重新履行工作许可手续</p> <p>⑭ 工作票签发人不得兼任该项工作的工作负责人。工作负责人可以填写工作票。工作许可人不得签发工作票</p> <p>⑮ 工作票签发人应由分场、工区(所)熟悉人员技术水平、熟悉设备情况、熟悉本规程的生产领导人、技术人员或经厂、局主管生产领导批准的人员担任。工作票签发人员名单应书面公布</p> <p>工作负责人和允许办理工作票的值班员(工作许可人)应由分场或工区主管生产的领导书面批准</p> <p>⑯ 工作票中所列人员的安全责任:</p> <p>a. 工作票签发人:工作必要性;工作是否安全;工作票上所填安全措施是否正确完备;所派工作负责人和工作班人员是否适当和足够,精神状态是否良好</p> <p>b. 工作负责人(监护人):正确安全地组织工作;结合实际进行安全思想教育;督促、监护工作人员遵守本规程;负责检查工作票所载安全措施是否正确完备和值班员所做的安全措施是否符合现场实际条件;工作前对工作人员交代安全事项;工作班人员变动是否合适</p> <p>c. 工作许可人:负责审查工作所列安全措施是否正确完备,是否符合现场条件;工作现场布置的安全措施是否完善;负责检查停电设备有无突然来电的危险;对工作票中所列内容即使发生很小疑问,也必须向工作票签发人询问清楚,必要时应要求作详细补充</p> <p>d. 值长:负责审查工作的必要性和检修工期是否与批准期限相符以及工作票所列安全措施是否正确完备</p> <p>e. 工作班成员:认真执行本规程和现场安全措施,互相关心施工安全,并监督本规程和现场安全措施的实施</p>
1.2	工作许可制度	<p>① 工作许可人(值班员)在完成施工现场的安全措施后,还应:</p> <p>a. 会同工作负责人到现场再次检查所做的安全措施,以手触试,证明检修设备确无电压</p> <p>b. 对工作负责人指明带电设备的位置和注意事项</p> <p>c. 与工作负责人在工作票上分别签名</p> <p>完成上述许可手续后,工作班方可开始工作</p> <p>② 工作负责人、工作许可人任何一方不得擅自变更安全措施。值班人员不得变更有关检修设备的运行接线方式。工作中如有特殊情况需要变更时,应事先取得对方的同意</p>
1.3	工作监护制度	<p>① 完成工作许可手续后,工作负责人(监护人)应向工作班人员交代现场安全措施、带电部位和其它注意事项。工作负责人(监护人)必须始终在工作现场,对工作班人员的安全认真监护,及时纠正违反安全的动作</p> <p>② 所有工作人员(包括工作负责人),不许单独留在高压室内和室外变电所高压设备区内如工作需要(如测量极性、回路导通试验等),且现场设备具体情况允许时,可以准许工作班中有实际经验的一人或几人同时在其它室进行工作,但工作负责人应在事前将有关安全注意事项予以详尽的指示</p> <p>③ 工作负责人(监护人)在全部停电时,可以参加工作班工作。在部分停电时,只有在安全措施可靠,人员集中在一个工作地点,不致误碰带电部分的情况下,方能参加工作</p> <p>工作票签发人或工作负责人,应根据现场的安全条件、施工范围、工作需要等具体情况,增设专人监护和批准被监护的人数</p> <p>专责监护人不得兼做其它工作</p>

(续)

序号	项 目	说 明
1.3	工作监护制度	<p>④ 工作期间,工作负责人若因故必须离开工作地点时,应指定能胜任的人员临时代替,离开前应将工作现场交代清楚,并告知工作班人员。原工作负责人返回工作地点时,也应履行同样的交接手续。如工作负责人需要长时间离开现场,应由原工作票签发人变更新工作负责人,两工作负责人应做好必要的交接</p> <p>⑤ 值班员如发现工作人员违反安全规程或任何危及工作人员安全的情况,应向工作负责人提出改正意见,必要时可暂时停止工作,并立即报告上级</p>
1.4	工作间断、转移和终结制度	<p>① 工作间断时,工作班人员应从工作现场撤出,所有安全措施保持不动,工作票仍由工作负责人执存。间断后继续工作,无需通过工作许可人。每日收工,应清扫工作地点,开放已封闭的通路,并将工作票交回值班员。次日复工时,应得到值班员许可,取回工作票,工作负责人必须事前重新认真检查安全措施是否符合工作票的要求后,方可工作。若无工作负责人或监护人带领,工作人员不得进入工作地点</p> <p>② 在未办理工作票终结手续以前,值班员不准将施工设备合闸送电</p> <p>在工作间断期间,如有紧急需要,值班员可在工作票未交回的情况下合闸送电,但应先将工作班全体人员已经离开工作地点的确切根据通知工作负责人或电气分场负责人,在得到他们可以送电的答复后方可执行,并应采取下列措施:</p> <ol style="list-style-type: none"> 拆除临时遮栏、接地线和标示牌,恢复常设遮栏,换挂“止步,高压危险!”的标示牌 必须在所有通路派专人守候,以便告诉工作班人员“设备已经合闸送电,不得继续工作”。守候人员在工作票未交回以前,不得离开守候地点 <p>③ 检修工作结束以前,若需将设备试加工作电压,可按下列条件进行:</p> <ol style="list-style-type: none"> 全体工作人员撤离工作地点 将该系统的所有工作票收回,拆除临时遮栏、接地线和标示牌,恢复常设遮栏 应在工作负责人和值班员进行全面检查无误后,由值班员进行加压试验 <p>工作班如需继续工作时,应重新履行工作许可手续</p> <p>④ 在同一电气连接部分用同一工作票依次在几个工作地点转移工作时,全部安全措施由值班员在开工前一次做完,不需再办理转移手续。但工作负责人在转移工作地点时,应向工作人员交代带电范围、安全措施和注意事项</p> <p>⑤ 全部工作完毕后,工作班应清扫、整理现场。工作负责人应先周密的检查,待全体工作人员撤离工作地点后,再向值班人员讲清所修项目、发现的问题、试验结果和存在问题等,并与值班人员共同检查设备状况,有无遗留物件,是否清洁等,然后在工作票上填明工作终结时间,经双方签名后,工作票方告终结</p> <p>⑥ 只有在同一停电系统的所有工作票结束,拆除所有接地线、临时遮栏和标示牌,恢复常设遮栏,并得到值班调度员或值班负责人的许可命令后,方可合闸送电</p> <p>⑦ 已结束的工作票,保存三个月</p>
2	保证电气工作安全的技术措施	
2.1	停电	<p>① 工作地点,必须停电的设备如下:</p> <ol style="list-style-type: none"> 检修的设备 与工作人员在进行工作中正常活动范围的距离小于表 a 规定的设备 在 44kV 以下的设备上工作,上述安全距离虽大于表 a 的规定,但小于表 b 规定,同时又无安全遮栏措施的设备 带电部分在工作人员后面或两侧无可靠安全措施的设备

(续)

序号	项 目	说 明																		
2.1	停电	表 a 工作人员工作中正常活动范围与带电设备的安全距离																		
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>电压等级/kV</th> <th>安全距离/m</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10 及以下 (含 13.8)</td> <td>0.35</td> </tr> <tr> <td>20~35</td> <td>0.60</td> </tr> <tr> <td>44</td> <td>0.90</td> </tr> <tr> <td>66~110</td> <td>1.50</td> </tr> <tr> <td>154</td> <td>2.00</td> </tr> <tr> <td>220</td> <td>3.00</td> </tr> <tr> <td>330</td> <td>4.00</td> </tr> <tr> <td>500</td> <td>5.00</td> </tr> </tbody> </table>	电压等级/kV	安全距离/m	10 及以下 (含 13.8)	0.35	20~35	0.60	44	0.90	66~110	1.50	154	2.00	220	3.00	330	4.00	500	5.00
		电压等级/kV	安全距离/m																	
		10 及以下 (含 13.8)	0.35																	
		20~35	0.60																	
		44	0.90																	
		66~110	1.50																	
		154	2.00																	
		220	3.00																	
		330	4.00																	
		500	5.00																	
		表 b 设备不停电时的安全距离																		
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>电压等级/kV</th> <th>安全距离/m</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10 及以下 (含 13.8)</td> <td>0.70</td> </tr> <tr> <td>20~35</td> <td>1.00</td> </tr> <tr> <td>44</td> <td>1.20</td> </tr> <tr> <td>66~110</td> <td>1.50</td> </tr> <tr> <td>154</td> <td>2.00</td> </tr> <tr> <td>220</td> <td>3.00</td> </tr> <tr> <td>330</td> <td>4.00</td> </tr> <tr> <td>500</td> <td>5.00</td> </tr> </tbody> </table>	电压等级/kV	安全距离/m	10 及以下 (含 13.8)	0.70	20~35	1.00	44	1.20	66~110	1.50	154	2.00	220	3.00	330	4.00	500	5.00
		电压等级/kV	安全距离/m																	
		10 及以下 (含 13.8)	0.70																	
		20~35	1.00																	
		44	1.20																	
66~110	1.50																			
154	2.00																			
220	3.00																			
330	4.00																			
500	5.00																			
② 将检修设备停电, 必须把各方面的电源完全断开 (任何运用中的星形结线设备的中性点, 必须视为带电设备)。禁止在只经断路器 (开关) 断开电源的设备上工作。必须拉开隔离开关 (刀闸), 使各方面至少有一个明显的断开点。与停电设备有关的变压器和电压互感器, 必须从高、低压两侧断开, 防止向停电检修设备反送电																				
③ 断开断路器 (开关) 和隔离开关 (刀闸) 的操作能源。隔离开关 (刀闸) 操作把手必须锁住																				
2.2	验电	① 验电时, 必须用电压等级合适而且合格的验电器, 在检修设备进出线两侧各相分别验电。验电前, 应先在有电设备上进行试验, 确证验电器良好。如果在木杆、木梯或木架构上验电, 不接地线不能指示者, 可在验电器上接地线, 但必须经值班负责人许可																		
		② 高压验电必须带绝缘手套。验电时应使用相应电压等级的专用验电器 330kV 及以上的电气设备, 在没有相应电压等级的专用验电器的情况下, 可使用绝缘棒代替验电器, 根据绝缘棒端有无火花和放电噼啪声来判断有无电压																		
		③ 表示设备断开和允许进入间隔的信号、经常接入的电压表等, 不得作为设备无电压的根据。但如果指示有电, 则禁止在该设备上工作																		

(续)

序号	项 目	说 明
2.3	装设接地线	<p>① 当验明设备已无电压后,应立即将检修设备接地并三相短路。这是保护工作人员在工作地点防止突然来电的可靠安全措施,同时设备断开部分的剩余电荷,亦可因接地而放尽</p> <p>② 对于可能送电至停电设备的各方面或停电设备可能产生感应电压的都要装设接地线。所装接地线与带电部分应符合安全距离的规定</p> <p>③ 检修母线时,应根据母线的长短和有无感应电压等实际情况确定接地线数量。检修10m及以下的母线,可以只装设一组接地线。在门型架构的线路侧进行停电检修,如工作地点与所装接地线的距离小于10m,工作地点虽在接地线外侧,也可不另装接地线</p> <p>④ 检修部分如分为几个在电气上不连接的部分(如分段母线以隔离开关或断路器隔开分成几段),则各段应分别验电接地短路,接地线与检修部分之间不得连有断路器或熔断器。降压变电所全部停电时,应将各个可能来电侧的部分接地短路,其余部分不必每段都装设接地线</p> <p>⑤ 在室内配电装置上,接地线应装在该装置导电部分的规定地点,这些地点的油漆应刮去,并划下黑色记号</p> <p>所有配电装置的适当地点,均应设有接地网的接头。接地电阻必须合格</p> <p>⑥ 装设接地线必须由两人进行。若为单人值班,只允许使用接地刀闸接地,或使用绝缘棒合接地刀闸</p> <p>⑦ 装设接地线必须先接接地端,后接导体端,且必须接触良好。拆接地线的顺序与此相反。装、拆接地线均应使用绝缘棒和戴绝缘手套</p> <p>⑧ 接地线应用多股软裸铜线,其截面应符合短路电流的要求,但不得小于25mm²。接地线在每次装设以前应经过详细检查。损坏的接地线应及时修理或更换。禁止使用不符合规定的导线作接地或短路之用</p> <p>接地线必须使用专用的线夹固定在导体上,严禁用缠绕的方法进行接地或短路</p> <p>⑨ 高压回路上的工作,需要拆除全部或部分接地线后始能进行工作者(如测量母线和电缆的绝缘电阻,检查开关触头是否同时接触),如:</p> <ol style="list-style-type: none"> 拆除一相接地线 拆除接地线,保留短路线 将接地线全部拆除或拉开接地刀闸 <p>必须征得值班员的许可(根据调度员命令装设的接地线,必须征得调度员的许可),方可进行。工作完毕后立即恢复</p> <p>⑩ 每组接地线均应编号,并存放在固定地点。存放位置亦应编号。接地线号码与存放位置号码必须一致</p> <p>⑪ 装、拆接地线,应做好记录,交接班时应交代清楚</p>
2.4	悬挂标示牌和装设遮栏	<p>① 在一经合闸即可送电到工作地点的断路器和隔离开关的操作把手上,均应悬挂“禁止合闸,有人工作!”的标示牌(参看表ZY9-8)</p> <p>如果线路上有人工作,应在线路断路器和隔离开关操作把手上悬挂“禁止合闸,线路有人工作!”的标示牌</p> <p>标示牌的悬挂和拆除,应按调度员的命令执行</p> <p>② 部分停电的工作,安全距离小于序号2.1中表b规定距离以内的未停电设备,应装设临时遮栏。临时遮栏与带电部分的距离,不得小于序号2.1中表a的规定数值。临时遮栏可用干燥木材、橡胶或其它坚韧绝缘材料制成,装设应牢固,并悬挂“止步,高压危险!”的标示牌</p> <p>35kV及以下设备的临时遮栏,如因工作特殊需要,可用绝缘挡板与带电部分直接接触。但此种挡板必须具有高度的绝缘性能,并符合表ZY9-9的要求</p> <p>③ 在室内高压设备上工作,应在工作地点两旁间隔和对面间隔的遮栏上和禁止通行的过道上悬挂“止步,高压危险!”的标示牌</p>

(续)

序号	项 目	说 明
2.4	悬挂标示牌和装设遮栏	④ 在室外地面高压设备上工作,应在工作地点四周用绳子做好围栏,围栏上悬挂适当数量的“止步,高压危险!”的标示牌,标示牌必须朝向围栏里面 ⑤ 在工作地点悬挂“在此工作!”的标示牌 ⑥ 在室外架构上工作,则应在工作地点邻近带电部分的横梁上,悬挂“止步,高压危险!”的标示牌。此项标示牌在值班人员的监护下,由工作人员悬挂。在工作人员上下铁架和梯子上应悬挂“从此上下!”的标示牌。在邻近其它可能误登的带电架构上,应悬挂“禁止攀登,高压危险!”的标示牌 ⑦ 严禁工作人员在工作中移动或拆除遮栏、接地线和标示牌

注:停电、验电、装设接地线及悬挂标示牌和装设遮栏等措施,一般应由值班员执行。对于无经常值班人员的电气设备,由断开电源人执行,并应有监护人在场。

6. 工作票格式及标示牌式样 分别如表 ZY9-7、8 所示。

表 ZY9-7 工作票格式 (据 DL408—91)

序号	项 目	格 式												
I	第一种工作票格式	<p style="text-align: center;">发电厂(变电所)第一种工作票 第___号</p> <p>1. 工作负责人(监护人): _____ 班组: _____</p> <p>2. 工作班人员: _____ 共___人</p> <p>3. 工作内容和工作地点: _____</p> <p>4. 计划工作时间: 自___年___月___日___时___分 至___年___月___日___时___分</p> <p>5. 安全措施:</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">下列由工作票签发人填写</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">下列由工作许可人(值班员)填写</td> </tr> <tr> <td>应拉断路器和隔离开关,包括填写前已拉断路器 和隔离开关(注明编号)</td> <td>已拉断路器和隔离开关(注明编号)</td> </tr> <tr> <td>应装接地线(注明确实地点)</td> <td>已装接地线(注明接地线编号和装设地点)</td> </tr> <tr> <td>应设遮栏,应挂标示牌</td> <td>已设遮栏,已挂标示牌(注明地点)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>工作地点保留带电部分和补充安全措施</td> </tr> <tr> <td>工作票签发人签名: _____ 收到工作票时间: ___年___月___日___时___分 值班负责人签名: _____</td> <td>工作许可人签名: _____ 值班负责人签名: _____</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">(发电厂值班长签名: _____)</p> <p>6. 许可开始工作时间: ___年___月___日___时___分 工作许可人签名: _____ 工作负责人签名: _____</p> <p>7. 工作负责人变动: 原工作负责人_____离去,变更_____为工作负责人。 变动时间: ___年___月___日___时___分 工作票签发人签名: _____</p>	下列由工作票签发人填写	下列由工作许可人(值班员)填写	应拉断路器和隔离开关,包括填写前已拉断路器 和隔离开关(注明编号)	已拉断路器和隔离开关(注明编号)	应装接地线(注明确实地点)	已装接地线(注明接地线编号和装设地点)	应设遮栏,应挂标示牌	已设遮栏,已挂标示牌(注明地点)		工作地点保留带电部分和补充安全措施	工作票签发人签名: _____ 收到工作票时间: ___年___月___日___时___分 值班负责人签名: _____	工作许可人签名: _____ 值班负责人签名: _____
下列由工作票签发人填写	下列由工作许可人(值班员)填写													
应拉断路器和隔离开关,包括填写前已拉断路器 和隔离开关(注明编号)	已拉断路器和隔离开关(注明编号)													
应装接地线(注明确实地点)	已装接地线(注明接地线编号和装设地点)													
应设遮栏,应挂标示牌	已设遮栏,已挂标示牌(注明地点)													
	工作地点保留带电部分和补充安全措施													
工作票签发人签名: _____ 收到工作票时间: ___年___月___日___时___分 值班负责人签名: _____	工作许可人签名: _____ 值班负责人签名: _____													

(续)

序号	项 目	说 明
1	第一种工作票格式	8. 工作票延期, 有可能延长到: _____年____月____日____时____分 工作负责人签名: _____ 值长或值班负责人签名: _____ 9. 工作终结: 工作班人员已全部撤离, 现场已清理完毕 全部工作于_____年____月____日____时____分结束。 工作负责人签名: _____ 工作许可人签名: _____ 接地线共____组已拆除 值班负责人签名: _____ 10. 备注: _____ _____ _____
2	第二种工作票格式	发电厂(变电所)第二种工作票 编号: _____ 1. 工作负责人(监护人): _____ 班组: _____ 工作班人员: _____ 2. 工作任务: _____ _____ 3. 计划工作时间: 自_____年____月____日____时____分 至_____年____月____日____时____分 4. 工作条件(停电或不停电): _____ _____ 5. 注意事项(安全措施): _____ _____ 工作票签发人签名: _____ 6. 许可开始工作时间: _____年____月____日____时____分 工作许可人(值班员)签名: _____ 工 作 负 责 人 签 名: _____ 7. 工作结束时间: _____年____月____日____时____分 工 作 负 责 人 签 名: _____ 工作许可人(值班员)签名: _____ 8. 备注: _____ _____

表 ZY9-8 标示牌式样 (据 DL408-91)

序号	名 称	悬 挂 处 所	式 样		
			尺寸/mm	颜 色	字 样
1	禁止合闸, 有人工作!	一经合闸后即可送电到施工设备的断路器和隔离开关操作把手上	200×100和 80×50	白底	红字
2	禁止合闸, 线路有人工作!	线路断路器和隔离开关操作把手上	200×100和 80×50	红底	白字

九、电气安全、接地与防雷 (ZY9)

857

(续)

序号	名称	悬挂处所	式样		
			尺寸/mm	颜色	字样
3	在此工作!	室外和室内工作地点或施工设备上	250×250	绿底, 中有直径 210mm 白圆圈	黑字, 写于白圆圈中
4	止步, 高压危险!	施工地点临近带电设备的遮栏上; 室外工作地点的围栏上; 禁止通行的过道上; 高压试验地点; 室外构架上; 工作地点临近带电设备的横梁上	250×200	白底红边	黑字, 有红色箭头
5	从此上下!	工作人员上下的铁架、梯子上	250×250	绿底, 中有直径 210mm 白圆圈	黑字, 写于白圆圈中
6	禁止攀登, 高压危险!	工作人员上下的铁架临近可能上下的另外铁架上, 运行中变压器的梯子上	250×200	白底红边	黑字

7. 常用电气绝缘工具试验要求 如表 ZY9-9 所示。

表 ZY9-9 常用电气绝缘工具试验要求 (据 DL 408—91)

序号	名称	电压等级 kV	周期	交流耐压 kV	时间 min	泄漏电流 mA	附注
1	绝缘棒	6~10	每年一次	44	5		
		35~154		四倍相电压			
		220		三倍相电压			
2	绝缘挡板	6~10	每年一次	30	5		
		35 (20~44)		80			
3	绝缘罩	35 (20~44)	每年一次	80	5		
4	绝缘夹钳	35 及以下	每年一次	三倍线电压	5		
		110		260			
		220		440			
5	验电笔	6~10	每六个月一次	40	5		发光电压 不高于额定 电压的 25%
		20~35		105			
6	绝缘手套	高压	每六个月一次	8	1	≤9	
		低压		2.5		≤2.5	
7	橡胶绝缘靴	高压	每六个月一次	15	1	≤7.5	
8	核相器电阻管	6	每六个月一次	6	1	1.7~2.4	
		10		10		1.4~1.7	
9	绝缘绳	高压	每六个月一次	105/0.5m	5		

8. 登高安全工具试验标准 如表 ZY9-10 所示。

表 ZY9-10 登高安全工具试验标准 (据 DL 408—91)

序号	名称	试验静拉力/N	试验周期	外表检查周期	试验时间/min
1	安全带 大皮带 小皮带	2205 1470	半年一次	每月一次	5
2	安全绳	2205	半年一次	每月一次	5
3	升降板	2205	半年一次	每月一次	5
4	脚扣	980	半年一次	每月一次	5
5	竹(木)材	试验荷重 1765N (180kg)	半年一次	每月一次	5

(三) 电气装置的接地与接零

1. 电气装置接地与接零的类型 如表 ZY9-11 所示。

表 ZY9-11 电气装置接地与接零的类型

序号	类别	说明
1	工作接地	是为了电路或设备达到运行要求的接地, 如电力系统中性点的接地
2	保护接地	是为了在故障情况下保障人身和设备的安全而进行的接地, 例如电气设备的外露可导电部分(金属外壳、构架等)的接地
3	防雷接地	是为了防止雷电过电压对人身和设备的安全产生危害而进行的接地, 如避雷针、避雷器等接地。此种接地亦可归入工作接地, 也有的归入保护接地
4	防静电接地	是为了消除静电对人身和设备的安全产生危害而进行的接地, 如某些液体和气体的金属输送管道的接地。此种接地可归入保护接地
5	屏蔽接地	兼有保护接地和工作接地的功能, 而首先是满足保护接地的要求
6	保护接零	为达到保护接地要求而采取接低压系统的接地中性线(即零线)的方式, 称为“接零”或“保护接零”。这种方式在我国普遍采用的 TN 系统中广泛应用(参看表 JC12-11)

2. 电气装置接地与接零的一般要求 如表 ZY9-12 所示。

表 ZY9-12 电气装置接地与接零的一般要求 (据 GB 50169—92)

序号	项目	说明
1	应予接地或接零的电气装置金属部分	<ul style="list-style-type: none"> ① 电机、变压器、电器、携带式或移动式用电器具等的金属底座和外壳 ② 电气设备的传动装置 ③ 屋内外配电装置的金属或钢筋混凝土构架以及靠近带电部分的金属遮栏和金属门 ④ 配电、控制、保护用的屏(柜、箱)及操作台等的金属框架和底座 ⑤ 交、直流电力电缆的接头盒、终端头和膨胀器的金属外壳和电缆的金属护层、可触及的电缆金属保护管和穿线的钢管

(续)

序号	项 目	说 明
1	应予接地或接零的电气装置金属部分	<ul style="list-style-type: none"> ⑥ 电缆桥架、支架和并架 ⑦ 装有避雷线的电力线路杆塔 ⑧ 装在配电线路杆上的电力设备 ⑨ 在非沥青地面的居民区内,无避雷线的小接地电流架空电力线路的金属杆塔和钢筋混凝土杆塔 ⑩ 电除尘器的构架 ⑪ 封闭母线的外壳及其它裸露的金属部分 ⑫ 六氟化硫封闭式组合电器和箱式变电站的金属箱体 ⑬ 电热设备的金属外壳 ⑭ 控制电缆的金属护层
2	可不接地或不接零的电气装置金属部分	<ul style="list-style-type: none"> ① 在木质、沥青等不良导电地面上的干燥房间内,交流额定电压为 380V 及以下或直流额定电压为 440V 及以下的电气设备的外壳;但当有可能同时触及上述电气设备外壳和已接地的其它物体时,则仍应接地 ② 在干燥场所,交流额定电压为 127V 及以下或直流额定电压为 110V 及以下的电气设备的外壳 ③ 安装在配电屏、控制屏和配电装置上的电气测量仪表、继电器和其它低压电器等的外壳,以及当发生绝缘损坏时,在支撑物上不会引起危险电压的绝缘子的金属底座等 ④ 安装在已接地金属构架上的设备,如穿墙套管等 ⑤ 额定电压为 220V 及以下的蓄电池室内的金属支架 ⑥ 由发电厂、变电所和工业、企业区域内引出的铁路轨道 ⑦ 与已接地的机床、机座之间有可靠电气接触的电动机和电器的外壳
3	需要接地的直流系统的接地装置要求	<ul style="list-style-type: none"> ① 能与地构成闭合回路且经常流过电流的接地线,应沿绝缘垫板敷设,不得与金属管道、建筑物和设备的构件有金属的连接 ② 在土壤中含有在电解时能产生腐蚀性物质的地方,不宜敷设接地装置,必要时可采取外引式接地装置或改良土壤的措施 ③ 直流电力回路专用的中性线和直流两线制正级的接地体、接地线不得与自然接地体有金属连接;当无绝缘隔离装置时,相互间的距离不应小于 1m ④ 三线制直流回路的中性线,宜用直接接地
4	接地线的应用	接地线除用以实现规定的工作接地或保护接地的要求外,不应作其它用途

3. 接地装置的选择 如表 ZY9-13 所示。

表 ZY9-13 接地装置的选择 (据 GB50169—92)

序号	项 目	说 明
1	可以利用的自然接地体 (交流设备接地)	<ul style="list-style-type: none"> ① 埋在地下的金属管道,但不包括有可燃或有爆炸物质的管道 ② 金属井管 ③ 与大地有可靠连接的建筑物的金属结构 ④ 水工建筑物及其类似的构筑物的金属管、桩

(续)

序号	项 目	说 明																																														
2	可作为交流电气设备接地线的自然接地体	① 建筑物的金属结构(梁、柱等)及设计规定的混凝土结构内部的钢筋 ② 生产用的起重机的轨道、配电装置的外壳、走廊、平台、电梯竖井、起重机与升降机的构架、运输皮带的钢梁、电除尘器的构架等金属结构 ③ 配线的钢管																																														
3	接地体和接地线的材质和结构尺寸要求	① 接地装置宜采用钢材。接地装置的导体截面应符合热稳定和机械强度的要求,但不应小于表 a 所列规格(注:GB50057—94 规定的防雷接地引下线要求略有出入,参看表 ZY9-25) <p style="text-align: center;">表 a 钢接地体和接地线的最小规格</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">种类、规格及单位</th> <th colspan="2">地 上</th> <th colspan="2">地 下</th> </tr> <tr> <th>室 内</th> <th>室 外</th> <th>交流电流回路</th> <th>直流电流回路</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>圆钢直径/mm</td> <td>6</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">扁钢</td> <td>截面/mm²</td> <td>60</td> <td>100</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>厚度/mm</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>角钢厚度/mm</td> <td>2</td> <td>2.5</td> <td>4</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>钢管管壁厚度/mm</td> <td>2.5</td> <td>2.5</td> <td>3.5</td> <td>4.5</td> </tr> </tbody> </table> <p>注: 电力线路杆塔的接地体引出线截面不应小于 50mm², 引出线应热镀锌。 大中型发电厂、110kV 及以上变电所或腐蚀性较强场所的接地装置应采用热镀锌钢材, 或适当加大截面</p> ② 低压电气设备地面上外露的铜和铝接地线的最小截面应符合表 b 的规定 <p style="text-align: center;">表 b 低压电气设备地面上外露的铜和铝接地线的最小截面</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>名 称</th> <th>铜/mm²</th> <th>铝/mm²</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>明敷的裸导体</td> <td>4</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>绝缘导体</td> <td>1.5</td> <td>2.5</td> </tr> <tr> <td>电缆的接地芯或与相线包在同一保护外壳内的多芯导线的接地芯</td> <td>1</td> <td>1.5</td> </tr> </tbody> </table> ③ 在地下不得采用裸铝导体作为接地体或接地线 ④ 不得利用蛇皮管、管道保温层的金属外皮或金属网以及电缆金属护层作接地线	种类、规格及单位	地 上		地 下		室 内	室 外	交流电流回路	直流电流回路	圆钢直径/mm	6	8	10	12	扁钢	截面/mm ²	60	100	100	厚度/mm	3	4	4	6	角钢厚度/mm	2	2.5	4	6	钢管管壁厚度/mm	2.5	2.5	3.5	4.5	名 称	铜/mm ²	铝/mm ²	明敷的裸导体	4	6	绝缘导体	1.5	2.5	电缆的接地芯或与相线包在同一保护外壳内的多芯导线的接地芯	1	1.5
种类、规格及单位	地 上			地 下																																												
	室 内	室 外	交流电流回路	直流电流回路																																												
圆钢直径/mm	6	8	10	12																																												
扁钢	截面/mm ²	60	100	100																																												
	厚度/mm	3	4	4	6																																											
角钢厚度/mm	2	2.5	4	6																																												
钢管管壁厚度/mm	2.5	2.5	3.5	4.5																																												
名 称	铜/mm ²	铝/mm ²																																														
明敷的裸导体	4	6																																														
绝缘导体	1.5	2.5																																														
电缆的接地芯或与相线包在同一保护外壳内的多芯导线的接地芯	1	1.5																																														

4. 接地装置的敷设 如表 ZY9-14 所示。

表 ZY9-14 接地装置的敷设 (据 GB50169—92)

序号	项 目	说 明	
1	接地体埋设要求	埋设深度	接地体顶面埋设深度应符合设计规定。无规定时, 不宜小于 0.6m
		间距	垂直接地体, 不宜小于其长度的 2 倍。水平接地体, 不宜小于 5m

(续)

序号	项 目	说 明
2	接地线的防护要求	① 接地线应防止发生机械损伤和化学腐蚀 ② 在与公路、铁路或管道等交叉及其它可能使接地线遭受损伤处,均应用管子或角钢等加以保护 ③ 接地线在穿过墙壁、楼板和地坪处应加装钢管或其它坚固的保护套,有化学腐蚀的部位还应采取防腐措施
3	接地的连接要求	① 接地干线应有不同的两点及两点以上的点与接地网相连接 ② 自然接地体应在不同的两点及以上与接地干线或接地网相连接 ③ 每个电气装置的接地应以单独的接地线与接地干线相连接,不得在一个接地线中串接几个需要接地的电气装置
4	明敷接地线的安装要求	① 应便于检查 ② 敷设位置不应妨碍设备的拆卸与检修 ③ 支持件间的距离,在水平直线部分宜为 0.5~1.5m;垂直部分宜为 1.5~3m;转弯部分宜为 0.3~0.5m ④ 接地线应按水平或垂直敷设,亦可与建筑物倾斜结构平行敷设;在直线段上,不应有高低起伏及弯曲等情况 ⑤ 接地线沿建筑物墙壁水平敷设时,离地面距离宜为 250~300mm;接地线与建筑物墙壁间的间隙宜为 10~15mm ⑥ 在接地线跨越建筑物伸缩缝、沉降缝处时,应设置补偿器。补偿器可用接地线本身弯成弧状代替
5	明敷接地线和中性线的标志	① 明敷接地线的表面应涂以用 15~100mm 宽度相等的绿色和黄色相间的条纹。当使用胶带时,宜使用双色胶带 ② 中性线宜涂淡蓝色标志 ③ 在接地线引向建筑物的入口处和在检修用临时接地点处,均应刷白色底漆并标以黑色记号,其代号为“ \perp ”
6	接地线与接地体的连接要求	① 当电缆穿过零序电流互感器时,电缆头的接地线应通过零序电流互感器后接地;由电缆头至穿过零序电流互感器的一段电缆金属护层和接地线应对地绝缘 ② 直接接地或经消弧线圈接地的变压器、旋转电机的中性点与接地体或接地干线的连接,应采用单独的接地线 ③ 变电所、配电所的避雷器应用最短的接地线与主接地网连接 ④ 全封闭组合电器的外壳应按制造厂规定接地;法兰片间应采用跨接线连接,并应保证良好的电气通路 ⑤ 高压配电间隔和静止补偿装置的栅栏门绞链处应用软铜线连接,以保持良好接地 ⑥ 高频感应电热装置的屏蔽网、滤波器、电源装置的金属屏蔽外壳、高频回路中外露导体和电气设备的所有屏蔽部分及其连接的金属管道均应接地,并宜与接地干线连接 ⑦ 接地装置由多个分接地装置部分组成时,应按设计要求设置便于分开的断接卡。自然接地体与人工接地体连接处有便于分开的断接卡,断接卡应有保护措施 ⑧ 接地体(线)的连接应采用焊接,焊接必须牢固无虚焊。接至电气设备上的接地线,应用镀锌螺栓连接;有色金属接地线不能采用焊接时,可用螺栓连接 ⑨ 接地体(线)的焊接应采用搭接焊,其搭接长度必须符合下列规定:a.扁钢,为其宽度的 2 倍(且至少 3 个棱边焊接);b.圆钢,为其直径的 6 倍;c.圆钢与扁钢连接时,其长度为圆钢直径 6 倍;d.扁钢与钢管、扁钢与角钢焊接时,为了连接可靠,除应在其接触部位两侧进行焊接外,还应焊以由钢带弯成的弧形或直角形卡子,或直接由钢带本身弯成弧形或直角形与钢管或角钢焊接 ⑩ 利用表 ZY9-13 序号 2 所述的各种金属构件、金属管道等作为接地线时,应保证其全长为完好的电气通路。利用串联的金属构件、金属管道作接地线时,应在其串接部位焊接金属跨接线

33

电气工程手册

5. 携带式和移动式电气设备的接地要求 如表 ZY9-15 所示。

表 ZY9-15 携带式和移动式电气设备的接地要求 (据 GB50169—92)

序号	项 目	说 明
1	携带式电气设备的接地要求	① 携带式电气设备应用专用芯线接地, 严禁利用其它用电设备的零线接地; 零线和接地线应分别与接地装置相连接 ② 携带式电气设备的接地线应采用软铜绞线, 其截面不小于 1.5mm^2
2	移动式电气设备的接地要求	① 由固定的电源或由移动式发电设备供电的移动式机械的金属外壳或底座, 应与这些供电电源的接地装置有金属的连接; 在中性点不接地的电网中, 可在移动式机械附近装设接地装置, 以代替敷设接地线, 并应首先利用附近的自然接地体 ② 移动式电气设备和机械的接地, 应符合固定式电气设备接地的规定, 但下列情况可不接地: a. 移动式机械自用的发电设备直接放在机械的同一金属框架上, 又不供给其它设备用电 b. 当机械由专用的移动式发电设备供电, 机械数量不超过 2 台, 机械距移动式发电设备不超过 50m, 且发电设备和机械的外壳之间有可靠的金属连接

6. 等电位联结 如表 ZY9-16 所示。

表 ZY9-16 等电位联结

序号	项 目	说 明
1	总等电位联结	
1.1	总等电位联结的含义	是在建筑物电源进线处, 通过联结干线将建筑物内的装置外导电部分如给排水管、煤气管、集中采暖和空调立管以及建筑物金属结构等导电体与 PE 干线及总接地端子相联接, 以便在发生接地故障时显著降低这些可导电部分的接触电压, 确保人身安全
1.2	总联结干线截面的要求	① 总联结干线截面不得小于最大 PE 干线截面的 $1/2$, 且不得小于 6mm^2 ② 采用铜导线, 截面不必大于 25mm^2
2	局部等电位联结	
2.1	局部等电位联结的含义	是局部范围内的等电位联结, 包括该范围内所有能触及的装置外导电部分与所有设备的 PE 线相联接, 亦称“辅助等电位联结”。其目的是进一步降低可能触及的导电部分的接触电压, 确保人身安全。如比较潮湿的浴室等地, 宜采用局部等电位联结
2.2	局部等电位联结线截面的要求	① 局部等电位联结线截面不应小于其范围内 PE 线截面的 $1/2$ ② 联接两外露可导电部分的等电位联结线截面, 不应小于其中较小的 PE 线截面

7. 接地装置的接地电阻要求 现行有关国家标准及 JGJ/T16—92 的规定如表 ZY9-17 所示。

表 ZY9-17 接地装置的接地电阻要求

序号	类 别	说 明	接地电阻/ Ω
1	小接地电流系统的电力装置接地 ^①	高压与低压电力装置共用的接地装置	工频接地电阻 $R_E \leq \frac{120}{I}$
2		仅用于高压电力装置	$R_E \leq \frac{250}{I}$ 且 $R_E \leq 10$

(续)

序号	类别	说明			接地电阻/ Ω
3	低压系统的电源中性点接地 ^②	与总容量 100kV·A 以上的发电机或变压器相连的接地装置			$R_E \leq 4$
4		上述 (序号 3) 装置的重复接地			$R_E \leq 10$
5		与总容量 100kV·A 及以下的发电机或变压器相连的接地装置			$R_E \leq 10$
6		上述 (序号 5) 装置的重复接地 (不少于 3 处)			$R_E \leq 30$
7	城镇中 3~10kV 架空线路的钢筋混凝土杆和铁杆接地	钢筋混凝土杆的钢筋可兼作接地引下线			$R_E \leq 30$
8	3~10kV 线路上排气式避雷器和保护间隙的接地	用于保护 3~10kV 较长线路中的绝缘薄弱地点	土壤电阻率 / ($\Omega \cdot m$)	100 及以下	$R_E \leq 10$
				100 以上至 500	$R_E \leq 15$
				500 以上至 1000	$R_E \leq 20$
				1000 以上至 2000	$R_E \leq 25$
				2000 以上	$R_E \leq 30$
9	3~10kV 交叉线路上排气式避雷器和保护间隙的接地	指线路之间 (含与通信线路之间) 交叉间距在 4m 以下时 (最小间距为 2m)	土壤电阻率 / ($\Omega \cdot m$)	100 及以下	$R_E \leq 20$
				100 以上至 500	$R_E \leq 30$
				500 以上至 1000	$R_E \leq 40$
				1000 以上至 2000	$R_E \leq 50$
				2000 以上	$R_E \leq 60$
10	低压钢筋混凝土杆和铁杆接地	只适于中性点非直接接地的低压系统 (IT 系统)			$R_E \leq 50$
11	低压接户线的绝缘子铁脚接地	指由木杆、木横担引下的接户线; 而自然接地电阻不大于 30 Ω 的钢筋混凝土电杆除外			$R_E \leq 30$
12	3~10kV 柱上断路器和负荷开关的防雷接地	采用阀型避雷器或保护间隙保护			$R_E \leq 10$
13	防直击雷的接闪器独立接地装置	含避雷针、避雷线、避雷带、避雷网的接地			冲击接地电阻 $R_{ik} \leq 10$
14	第一类防雷建筑物的防雷接地	防直击雷及防雷电波侵入			$R_{ik} \leq 10$
		防雷电感应			$R_E \leq 10$
15	第二类防雷建筑物的防雷接地	防直击雷、防雷电感应与防雷电波侵入, 共用接地装置			$R_{ik} \leq 10$

(续)

序号	类别	说明	接地电阻/ Ω
16	第三类防雷建筑物的防雷接地	防直击雷和防雷电波侵入共用接地	$R_{\text{sh}} \leq 30$
		其中部、省级办公建筑物及其它重要或人员密集的公共建筑物	$R_{\text{sh}} \leq 10$

① 小接地电流系统的接地电阻计算公式中的电流 (单位 A), 对中性点不接地系统为单相接地电容电流, 按下式计算:

$$I = \frac{U_N(l_{\text{ok}} + 35l_{\text{cab}})}{350}$$

式中, U_N 为电网额定电压 (kV); l_{ok} 为该电网中架空线路总长度 (km); l_{cab} 为该电网中电缆线路总长度 (km)。

对装有消弧线圈的变电所或电力装置, 公式中电流 I 等于接在同一接地装置中同一电网各消弧线圈额定电流总和的 1.25 倍。

对不装消弧线圈的变电所或电力装置, 公式中电流 I 等于电网中断开最大一台消弧线圈时最大可能的残余电流, 但不得小于 30A (此为 JGJ/T16—92 规定, 而 JBJ6—96 规定“不得小于 10A”)。

在确定公式中电流 (接地故障电流) 时, 应考虑电网 5~10 年的发展规划及实际工程的发展规划。

在高土壤电阻率地区当使接地电阻达到规定要求和技术经济上很不合理时, 电力设备的 R_E 可提高到 30 Ω , 变电所的 R_E 可提高到 15 Ω , 但应满足规定的最大接触电压和跨步电压要求。(据 JGJ/T 16—92)

② JBJ6—96 规定: 低压系统与高压系统共用一个接地装置时, 低压中性点接地电阻 $R_E \leq 1\Omega$; 低压系统与高压系统分设两个接地装置时, 低压中性点接地电阻 $R_E \leq 3\Omega$ 。

8. 接地体工频接地电阻的近似计算公式 如表 ZY9-18 所示。

表 ZY9-18 接地体工频接地电阻的近似计算公式

序号	项 目	计 算 公 式	符 号 含 义
1	人工接地体工频接地电阻近似计算公式		
1.1	单根垂直管形 (或棒形) 接地体	① $R_{E(1)} \approx \rho/l$ ② $R_{E(1)} \approx 0.3\rho$	$R_{E(1)}$ ——单根接地体的工频接地电阻 (Ω) R_E ——工频接地电阻 (Ω) ρ ——土壤电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$) l ——单根接地体长度 (m) n ——放射形接地带根数 A ——环形接地带所包围的面积 (m^2)
1.2	单根水平带形接地体	① $R_{E(1)} \approx 2\rho/l$ ② $R_{E(1)} \approx 0.03\rho$	
1.3	多根放射形水平接地带 ($n \leq 12$, 每根长 60m)	$R_E \approx \frac{0.062\rho}{n+1.2}$	
1.4	环形接地带	① $R_E \approx 0.6\rho/\sqrt{A}$ ② $R_E \approx 0.5\rho/\sqrt{A}$	
2	部分自然接地体工频接地电阻近似计算公式		
2.1	埋地的水管及电缆金属外皮等	$R_E \approx 2\rho/l$	R_E ——工频接地电阻 (Ω) ρ ——土壤电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$) l ——水管、电缆的埋地长度 (m) V ——钢筋混凝土基础的体积 (m^3)
2.2	钢筋混凝土基础	$R_E \approx 0.2\rho/\sqrt[3]{V}$	

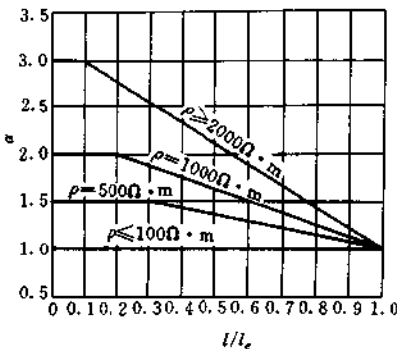
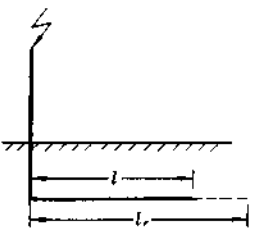
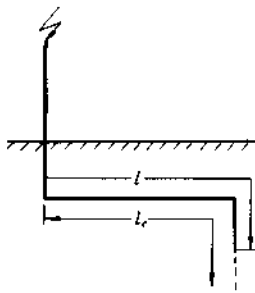
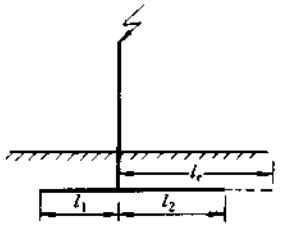
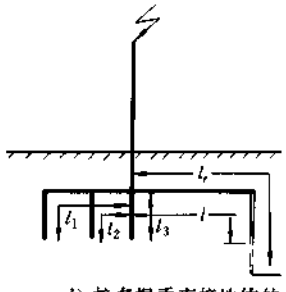
注: 表中①、②两式中, 经核算, 以采用其中①式为宜。

9. 接地体冲击接地电阻的近似计算公式 如表 ZY9-19 所示。

表 ZY9-19 接地体冲击接地电阻的近似计算公式 (据 GB50057—94)

序号	项 目	说 明
1	冲击接地电阻与工频接地电阻的换算公式	$R_E = \alpha R_{\text{sh}}$ 或 $R_{\text{sh}} = R_E/\alpha$ 式中, R_E 为接地装置各支线的长度取值小于或等于接地体的有效长度 l , 或者有支线大于 l , 而取其等于 l 时的工频接地电阻 (Ω); α 为换算系数, 其数值宜按本表序号 2 确定; R_{sh} 为所要求的接地装置冲击接地电阻 (Ω)

(续)

序号	项 目	说 明
2	换算系数 α 的确定	
3	放射式接地体有效长度 l_e 的计量	<p style="text-align: center;">$l_e = 2\sqrt{\rho}$</p> <p>式中, l_e 为接地体的有效长度 (m), 按下面图 a~图 d 所示计量; ρ 为敷设地点的土壤电阻率 ($\Omega \cdot m$)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>a) 单根水平接地体</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>b) 末端接垂直接地的单根水平接地体</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p>c) 多根水平接地体 ($l_1 \leq l_2$)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>d) 接多根垂直接地的多根水平接地体 ($l_1 \leq l, l_2 \leq l, l_3 \leq l$)</p> </div> </div>
4	环形接地体的冲击接地电阻计算	<p>① 当环形接地体周长的一半大于或等于接地体的有效长度 l_e 时, 引下线的冲击接地电阻, 应为从与该引下线的连接点起沿两侧接地体各取 l_e 长度算出的工频接地电阻, 再除以换算系数 α 值</p> <p>② 当环形接地体周长的一半小于接地体有效长度 l_e 时, 引下线的冲击接地电阻, 应为以接地体的实际长度算出的工频接地电阻, 再除以 α 值</p>
5	钢筋基础接地体的冲击接地电阻	<p>与引下线连接的基础接地体, 当其钢筋从与引下线的连接点量起大于 20m 时, 其冲击接地电阻应为以换算系数 α 等于 1 和以该连接点为圆心, 20m 为半径的半球体范围内的钢筋体的工频接地电阻</p>

10. 土壤电阻率参考值 如表 ZY9-20 所示。

表 ZY9-20 土壤电阻率参考值

序号	土壤名称	土壤电阻率近似值/ ($\Omega \cdot m$)	序号	土壤名称	土壤电阻率近似值/ ($\Omega \cdot m$)
1	陶粘土	10	7	黄土	200
2	泥炭、泥灰岩、沼泽地	20	8	含砂粘土、砂土	300
3	捣碎的木炭	40	9	多石土壤	400
4	黑土、田园土、陶土	50	10	砂、砂砾	1000
5	粘土	60	11	砾石、碎石	5000
6	砂质粘土、可耕地	100	12	地下水	20~70

11. 接地装置的设计计算 如表 ZY9-21 所示。

表 ZY9-21 接地装置的设计计算

序号	设计计算内容	设计要求和公式
1	按设计规范确定允许的接地电阻 R_E	R_E 可按表 ZY9-17 确定
2	实测或估算可以利用的自然接地体的接地电阻 $R_{E(nat)}$	① 应首先充分利用自然接地体 (参看表 ZY9-13 序号 1、2) ② 变配电所可利用本身建筑的钢筋混凝土基础作自然接地体。10kV 及以下变配电所如利用基础作自然接地体满足接地电阻要求时,可不另设人工接地体,但 10kV 以上变配电所及有爆炸危险场所除外 ③ 常用自然接地体工频接地电阻的计算公式参看表 ZY9-18 序号 2
3	计算需补充的人工接地体的接地电阻 $R_{E(man)}$	$R_{E(man)} = \frac{R_{E(nat)} R_E}{R_{E(nat)} - R_E}$
4	按所求得的 $R_{E(man)}$ (如未考虑自然接地体则按规范要求的 R_E) 初步确定接地方案	① 人工接地体和接地线的最小规格,参看表 ZY9-13 中表 a ② 最常用的垂直接地体为直径 50mm、长度 2.5m 的钢管;接地线和水平连接导体常用 40mm×4mm 扁钢;当变压器容量在 315kVA 及以下时,接地线和水平连接导体可用 25mm×4mm 扁钢 ③ 垂直接地体离建筑物基础不得小于 1.5m,一般取 2~3m ④ 垂直接地体间距离宜为接地体长的 2 倍
5	计算单根垂直接地体的接地电阻 $R_{E(1)}$	$R_{E(1)}$ 的近似计算公式参看表 ZY9-18 序号 1.1,建议采用①式
6	用逐步渐近法计算垂直接地体根数 n	$n \geq \frac{R_{E(1)}}{\eta R_{E(man)}}$ 如不计 $R_{E(nat)}$, 则 $n \geq \frac{R_{E(1)}}{\eta R_E}$ 式中, η 为接地体利用系数,如以下附表所示
7	校验接地线的短路热稳定度	满足短路热稳定度的最小截面 (单位 mm^2) 为 $A_{min} = I^{(1)} \times 10^3 \times \sqrt{t_{ima}} / C$ 式中 $I^{(1)}$ 为单相接地短路电流 (kA); t_{ima} 为短路热稳定计算的假想时间 (s),参看表 ZY3-11 序号 2; C 为短路热稳定系数,铜接地线 $C=70$

(续)

序号	设计计算内容	设计要求和公式									
附表	附表 垂直管形接地体的利用系数										
	敷设方式	一排敷设					环形敷设				
	管子根数	2	3	5	10	4	6	10	20	30	40
	管间距离与管长之比	垂直管形接地体利用系数									
	1	0.84 ~0.87	0.76 ~0.80	0.67 ~0.72	0.56 ~0.62	0.66 ~0.72	0.58 ~0.65	0.52 ~0.58	0.44 ~0.50	0.41 ~0.47	0.38 ~0.44
	2	0.90 ~0.92	0.85 ~0.88	0.79 ~0.83	0.72 ~0.77	0.72 ~0.80	0.70 ~0.75	0.66 ~0.71	0.61 ~0.66	0.58 ~0.63	0.56 ~0.61
	3	0.93 ~0.95	0.90 ~0.92	0.85 ~0.88	0.79 ~0.83	0.80 ~0.84	0.78 ~0.82	0.74 ~0.78	0.68 ~0.73	0.66 ~0.71	0.64 ~0.69
备注	本附表利用系数值未计及连接扁钢的影响,因而较实际值略低,但由此确定的接地装置更能满足接地要求										

12. 接地故障保护的要求 如表 ZY9-22 所示。

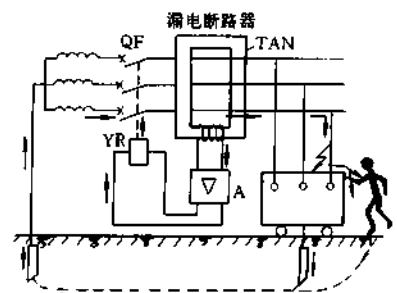
表 ZY9-22 接地故障保护的要求 (据 GB50054—95)

序号	项 目	说 明
1	接地故障保护的功能	接地故障保护的设置在于防止人身间接触电以及电气火灾、线路损坏等事故
2	接地故障保护的一般要求	<p>① 本表所指接地故障保护的电气设备,只适用于防触电保护分类的 I 类电气设备 (参看表 ZY9-1 序号 43)</p> <p>② 本表所指接地故障保护的环境,均属正常环境,在此环境内人身触电安全电压限值为 50V</p> <p>③ 切断接地故障的时限限值,根据低压配电系统的接地型式和电气设备使用情况而定,但其最大值不宜超过 5s</p> <p>④ 采用接地故障保护时应作总等电位联结 (参看表 ZY9-16 序号 1)</p> <p>⑤ 当电气装置或电气装置某一部分的接地故障保护不能满足①~③条要求时,应在局部范围内作局部等电位联结 (参看表 ZY9-16 序号 2)</p> <p>⑥ 除本表后面规定的接地故障保护外,下列措施也可用于防人身间接触电:</p> <p>a. 采用双重绝缘或加强绝缘的电气设备 (即按防触电保护分类的 I 类电气设备)</p> <p>b. 采取电气隔离措施</p> <p>c. 采用安全超低压</p> <p>d. 将电气设备安装在非导电场所内</p> <p>e. 设置不接地的等电位联结</p>
3	TN 系统的接地故障保护	<p>① TN 系统配电线路接地故障保护的動作特性应符合下式要求:</p> $I_{op(E)}Z_{s(E)} \leq U_0$ <p>式中, $I_{op(E)}$ 为接地故障保护的動作电流; U_0 为系统相线对地的额定电压; $Z_{s(E)}$ 为接地故障回路的阻抗</p> <p>② 相线对地额定电压为 220V 的 TN 系统配电线路的接地故障保护,其切断故障回路的时间应符合下列规定:</p> <p>a. 配电干线及只供电给固定式电气设备用电的末端配电线路不宜大于 5s</p> <p>b. 供电给手提式电气设备和移动式电气设备的末端配电线路或插座回路,不应大于 0.4s</p>

(续)

序号	项 目	说 明										
3	TN 系统的接地故障保护	c. 如果采用熔断器保护, 接地故障电流 $I_k^{(1)}$ 与熔体额定电流 $I_{N,FE}$ 的比值不小于下表所列值时, 可认为满足以上 a、b 的时间要求:										
		<table border="1"> <tr> <td>熔体额定电流 $I_{N,FE}/A$</td> <td>4~10</td> <td>16~63</td> <td>80~200</td> <td>250~500</td> </tr> <tr> <td>切断故障时间 $\leq 5s$ $I_k^{(1)}/I_{N,FE}$</td> <td>4.5</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> </tr> </table>	熔体额定电流 $I_{N,FE}/A$	4~10	16~63	80~200	250~500	切断故障时间 $\leq 5s$ $I_k^{(1)}/I_{N,FE}$	4.5	5	6	7
		熔体额定电流 $I_{N,FE}/A$	4~10	16~63	80~200	250~500						
		切断故障时间 $\leq 5s$ $I_k^{(1)}/I_{N,FE}$	4.5	5	6	7						
		<table border="1"> <tr> <td>熔体额定电流 $I_{N,FE}/A$</td> <td>4~10</td> <td>16~32</td> <td>40~63</td> <td>80~200</td> </tr> <tr> <td>切断故障时间 $\leq 0.4s$ $I_k^{(1)}/I_{N,FE}$</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>10</td> <td>11</td> </tr> </table>	熔体额定电流 $I_{N,FE}/A$	4~10	16~32	40~63	80~200	切断故障时间 $\leq 0.4s$ $I_k^{(1)}/I_{N,FE}$	8	9	10	11
熔体额定电流 $I_{N,FE}/A$	4~10	16~32	40~63	80~200								
切断故障时间 $\leq 0.4s$ $I_k^{(1)}/I_{N,FE}$	8	9	10	11								
<p>③ 当配电箱同时有上述②条 a、b 两种线路引出时, 应满足下列条件之一:</p> <p>a. 使配电箱至总等电位联结回路之间的一段 PE 线的阻抗 (Ω) 不大于 $(50/U_\varphi) Z_{S(E)}$, 此处 U_φ 为相线对地额定电压 (V), $Z_{S(E)}$ 为故障回路阻抗 (Ω), 或作局部等电位联结</p> <p>b. 自配电箱引出的以上②条 a 款所述的线路, 其切断故障回路的时间也不大于 0.4s</p> <p>④ TN 系统配电线路应采用下列类型的接地故障保护:</p> <p>a. 当过电流保护能满足②条要求时, 宜采用过电流保护兼作接地故障保护</p> <p>b. 在三相四线制配电线路中, 如过电流保护不满足②条要求且零序电流保护能满足时, 宜采用零序电流保护, 此时保护整定值应大于配电线路最大不平衡电流</p> <p>c. 当上述 a、b 两款所述保护皆不满足要求时, 应采取漏电电流保护 (参看本表序号 6)</p>												
4	TT 系统的接地故障保护	<p>① TT 系统配电线路的接地故障保护的動作特性应符合下式要求:</p> $I_{op(E)} R_E \leq 50V$ <p>式中, $I_{op(E)}$ 为保证保护电器切断故障回路的動作电流 (A); R_E 为外露可导电部分的接地电阻和 PE 线电阻 (Ω)</p> <p>② 采用反时限特性过电流保护电器时, 上式中 $I_{op(E)}$ 为在保证 5s 内切断故障回路的動作电流; 采用瞬时動作特性过电流保护电器时, 上式中 $I_{op(E)}$ 为瞬时切断故障回路的動作电流</p> <p>当采用漏电电流保护时, 上式中 $I_{op(E)}$ 为漏电保护動作电流</p> <p>③ TT 系统配电线路内由同一接地故障保护电器保护的外露可导电部分, 应用 PE 线连接至共用的接地装置上。当有多极保护时, 各级宜有各自的接地极</p>										
5	IT 系统的接地故障保护	<p>① 在 IT 系统配电线路中, 当发生第一次接地故障时, 应由绝缘监视电器发出音响或灯光信号, 其動作电流符合下式要求:</p> $I_E R_E \leq 50V$ <p>式中, I_E 为相线与外露可导电部分间第一次短路故障的故障电流 (A), 它计及泄漏电流和电气装置全部接地电阻的影响; R_E 为外露可导电部分的接地体电阻 (Ω)</p> <p>② IT 系统的外露可导电部分可用共同的接地体接地, 也可个别地或成组地用单独的接地体接地</p> <p>a. 如外露可导电部分为单独接地, 发生第二次异相接地故障时, 故障回路的切断应符合 TT 系统接地故障保护的要求</p>										

(续)

序号	项 目	说 明
5	IT 系统的接地故障保护	<p>b. 如外露导体为共同接地,则发生第二次异相接地故障时,故障回路的切断应符合 TN 系统的要求</p> <p>③ IT 系统的配电线路,当发生第二次异相接地故障时,应由过电流保护电器或漏电保护器切断故障电路,并应符合下列要求:</p> <p>a. 当不配出 N 线时 (IT 系统一般不配出 N 线):</p> $I_{op}Z_{\Sigma(E)} \leq \frac{\sqrt{3}}{2} U_{\phi}$ <p>b. 当配出 N 线时:</p> $I_{op}Z'_{\Sigma(E)} \leq \frac{1}{2} U_{\phi}$ <p>式中, I_{op} 为保护电器切断故障回路的动作电流 (当线路额定电压为 220/380V 时,如不配出 N 线,为在 0.4s 内切断故障回路的动作电流;如配出 N 线,为在 0.8s 内切断故障回路的动作电流); $Z_{\Sigma(E)}$ 为包括相线和 PE 线在内的故障回路阻抗; $Z'_{\Sigma(E)}$ 为包括相线、N 线和 PE 线在内的故障回路阻抗</p>
6	<p>漏电保护</p> <p>漏电保护器的基本原理^[1]</p>	<p>漏电保护器又称“触电保护器”或“漏电断路器”等。它按工作原理分电流动作型和电压动作型,但通用的为电流动作型。下图为电流动作型漏电保护器原理接线示意图。它由零序电流互感器 TAN、放大器 A 和低压断路器 QF (内含脱扣器 YR) 等组成。设备正常运行时,主电路三相电流相量和为零,因此 TAN 的铁心中无磁通,其二次侧无输出电压。当设备发生单相接地 (壳) 故障时,由于此时主电路有单相故障电流通过,从而使 TAN 的铁心中出现零序磁通,其二次侧感应出电压和电流,经 A 放大后,通入低压断路器的脱扣器 YR,使断路器 QF 跳闸,从而切断回路,避免人员发生触电事故</p>  <p>TAN—零序电流互感器 A—放大器 YR—脱扣器 QF—低压断路器</p> <p>装设要求</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 严禁 PE 或 PEN 线穿过漏电保护器中电流互感器的磁回路 ② 漏电保护器所保护的线路及设备的外露可导电部分应接地 <p>动作电流的选择 (据 JGJ/T16—92)</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 手握式用电设备为 15mA ② 环境恶劣或潮湿场所的用电设备 (如高空作业、水下作业等处) 为 6~10mA ③ 医疗电气设备为 6mA ④ 建筑施工工地的用电设备为 15~30mA ⑤ 家用电器回路为 30mA ⑥ 成套开关柜、分配电盘等为 100mA 以上 ⑦ 防止电气火灾为 300mA

(续)

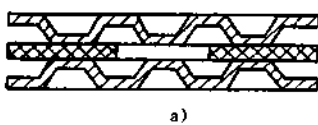

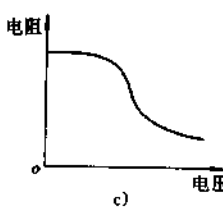
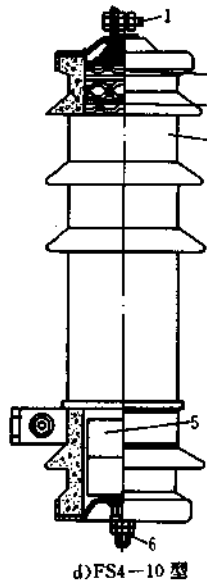
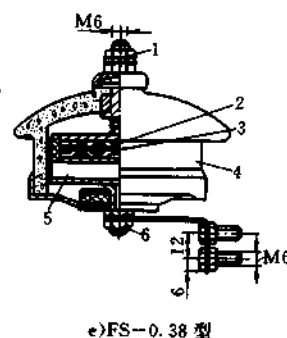
序号	项 目	说 明
5	避雷带、网的结构要求	② 装于烟囱上的避雷环, 要求: 圆钢: 直径不应小于 12mm 扁钢: 截面不应小于 100mm ² , 厚度不应小于 4mm ③ 架空避雷网宜采用截面不小于 35mm ² 的镀锌钢绞线
6	作为接闪器的金属屋面结构要求	除第一类防雷建筑物外, 金属屋面的建筑物宜利用其屋面作为接闪器, 并应符合下列要求: ① 金属板之间采用搭接时, 其搭接长度不应小于 100mm ② 金属板下面无易燃物品时, 其厚度不应小于 0.5mm ③ 金属板下面有易燃物品时, 其厚度: a. 铁板不应小于 4mm; b. 钢板不应小于 5mm; c. 铝板不应小于 7mm; ④ 金属板无绝缘被覆层 (注: 薄的油漆保护层或 0.5mm 厚沥青层或 1mm 厚聚氯乙烯层均不属于绝缘被覆层)
7	作为接闪器的屋顶上永久性金属物的结构要求	可作为接闪器的屋顶上永久性金属物, 各部件之间应连成电气通路, 并应符合下列规定: ① 旗杆、栏杆、装饰物等, 其尺寸应符合本表序号 3~5 的规定 ② 钢管、钢罐的壁厚不小于 2.5mm, 但钢管、钢罐一旦被雷击穿, 其介质对周围环境造成危险时, 其壁厚不得小于 4mm
8	其它	① 除混凝土构件内的钢筋作接闪器外, 其它接闪器均应热镀锌或涂漆。在腐蚀性较强的场所, 应适当加大截面或采取其它防腐措施 ② 不得利用安装在接收无线电广播的共用天线的杆顶上的接闪器来保护建筑物

3. 接闪器的引下线及接地装置 如表 ZY9-25 所示。

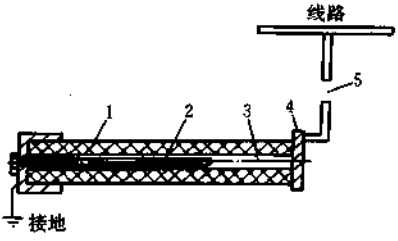
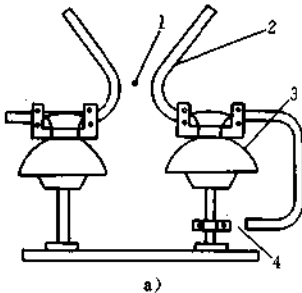
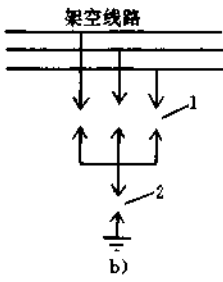
表 ZY9-25 接闪器的引下线及接地装置 (据 GB50057—94)

序号	项 目	说 明
1	接闪器的引下线	
1.1	引下线的一般要求	① 引下线宜采用圆钢或扁钢, 宜优先采用圆钢 圆钢: 直径不应小于 8mm 扁钢: 截面不应小于 48mm ² , 厚度不应小于 4mm ② 引下线防腐措施应符合表 ZY9-24 序号 8 的要求
1.2	烟囱上引下线的要求	圆钢: 直径不应小于 12mm 扁钢: 截面不应小于 100mm ² , 厚度不应小于 4mm
1.3	明敷和暗敷引下线的要求	① 引下线应沿建筑物外墙明敷, 并经最短路径接地 ② 建筑艺术要求较高者可暗敷, 但其圆钢直径不应小于 10mm; 扁钢截面不应小于 80mm ²
1.4	消防梯等金属构件作为引下线的要求	建筑物的消防梯、钢柱等金属构件宜作为引下线, 但其各部件之间均应连成电气通路
1.5	引下线上断接卡和连接板的装设要求	① 采用多根引下线时, 宜在各引下线上于距地面 0.3m 至 1.8m 之间装设断接卡 ② 当利用混凝土内钢筋、钢柱作为自然引下线并同时采用基础接地体时, 可不设装设卡, 但利用钢筋作引下线时, 应在室内外的适当地点设若干连接板, 供测量、接人工接地体和作等电位联结用 ③ 仅利用钢筋作引下线并采用埋于土壤中的人工接地体时, 应在每根引下线上于距地面不低于 0.3m 处设接地体连接板

(续)

序号	项 目	说 明
2	避雷器的类型	<p>① 阀式避雷器：即碳化硅避雷器通常称为“阀式避雷器”</p> <p>② 排气式避雷器，通称“管式（或管型）避雷器”</p> <p>③ 保护间隙：俗称“羊角式避雷器”</p> <p>④ 金属氧化物避雷器：又称“压敏电阻避雷器”</p>
3	阀式避雷器（碳化硅避雷器）的结构	<p>阀式避雷器主要由火花间隙和阀电阻片组成，装在密封的瓷套管内</p> <p>① 火花间隙：由铜片冲制而成，每对间隙用厚 0.5~1mm 的云母垫圈隔开，如图 a 所示</p>  <p>a)</p>  <p>b)</p>  <p>c) 电阻 电压</p> <p>② 阀电阻片：由碳化硅压制烧结而成（见图 b），具有“阀性”特性，过电压时，阀电阻变得很小，而正常电压下，阀电阻很大（见图 c）</p> <p>普通高、低压阀式避雷器的结构如图 d 和图 e 所示</p>  <p>d) FS4-10 型</p>  <p>e) FS-0.38 型</p> <p>1—上接线端 2—火花间隙 3—云母垫圈 4—瓷套管 5—阀电阻片 6—下接线端</p> <p>普通阀式避雷器有两种型式：a. 火花间隙旁无并联电阻的 FS 型，适于保护 10kV 及以下中小型配变电所的电气设备；b. 火花间隙旁有并联电阻的 FZ 型，适于保护发电厂和大中型变配电站的电气设备，并联电阻有使火花间隙上的电压分布均匀的作用，改善避雷器的保护性能</p> <p>另有一种磁吹阀式避雷器 FCD 型，利用磁力吹弧来加速电弧的熄灭，从而使其放电电压和残压降低，通流容量增大，能更好地实现与电气设备绝缘的配合，不仅能保护大气过电压，而且能保护某些内部过电压。它主要用来保护绝缘比较薄弱的旋转电机</p>

(续)

序号	项 目	说 明															
4	排气式 (管型) 避雷器结构	<p>排气式 (通称管型) 避雷器由产气管、内部火花间隙和外部火花间隙等三部分组成, 如下图所示</p>  <p>1—产气管 2—棒形电极 3—内部间隙 4—环形电极 5—外部间隙 排气式避雷器用于室外架空线路上防雷保护</p>															
5	保护间隙的结构和联接	<p>保护间隙 (羊角式避雷器) 的结构如图 a 所示</p>  <p>1—主间隙 2—角形电极 3—支持绝缘子 4—辅助间隙 保护间隙也用于室外架空线路上的防雷保护, 其联接示意图如图 b 所示</p>  <p>1—主间隙 2—辅助间隙 保护间隙的主间隙和辅助间隙的间隙距离如下表所示</p> <table border="1" data-bbox="467 1765 1308 1892"> <thead> <tr> <th>额定电压/kV</th> <th>3</th> <th>6</th> <th>10</th> <th>35</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>主间隙/mm</td> <td>8</td> <td>15</td> <td>25</td> <td>210</td> </tr> <tr> <td>辅助间隙/mm</td> <td>5</td> <td>10</td> <td>10</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table>	额定电压/kV	3	6	10	35	主间隙/mm	8	15	25	210	辅助间隙/mm	5	10	10	20
额定电压/kV	3	6	10	35													
主间隙/mm	8	15	25	210													
辅助间隙/mm	5	10	10	20													

(续)

序号	项 目	说 明
6	金属氧化物避雷器 (压敏电阻) 的结构特点	它是一种没有火花间隙只有压敏电阻片的新型阀式避雷器。压敏电阻片是由氧化锌或氧化铋等金属氧化物烧结而成的多晶半导体陶瓷元件, 具有理想的阀特性。在工频电压下, 它呈现极大的电阻, 能迅速有效地抑制工频续流, 因此无需火花间隙来熄灭由工频续流引起的电弧, 而在雷电过电压下, 其电阻又变得很小, 能很好地泄放雷电流

5. 变配电所和电力线路的防雷措施与技术要求 如表 ZY9-27 所示。

表 ZY9-27 变配电所和电力线路的防雷措施与技术要求

序号	防 雷 措 施	适 用 范 围	主 要 技 术 要 求
1	对直击雷的防护		
1.1	装设独立避雷针	变配电所及架空线路个别杆塔上 (如在相邻的高层建筑物的防雷保护范围以内时可不装设)	① 独立避雷针 (线) 宜设独立的接地装置。在非高土壤电阻率地区, 其 $R_E \leq 10\Omega$ 。当有困难时, 可将该接地装置与主接地网连接, 但避雷针 (线) 与主接地网的地下连接点沿接地线的长度不得小于 15m ② 独立避雷针与变配电装置在空气中的间距 $s_0 \geq 0.3R_{s0} + 0.1h$ (式中 h 为避雷针离地高度 (m); R_{s0} 为冲击接地电阻 (Ω) (见表 ZY9-17), 且 $s_0 \geq 5m$; 独立避雷针的接地装置与主接地网在地中的距离 $s_E \geq 0.3R_{sE}$, 且 $s_E \geq 3m$ ③ 避雷针 (线) 及其引下线的材料、规格与安装要求, 参看表 ZY9-24、25 ④ 保护范围应符合规范要求 (参看表 ZY9-28、29)
1.2	装设架空避雷线	峡谷地区的变配电所和 35kV 及以上的架空线路	
2	对雷电波侵入的防护		
高 压 侧	装设阀式避雷器	高压母线、变压器高压侧及高压架空进线末端或出线首端	① 阀式避雷器与主变压器及其它被保护设备的电气距离 s 应尽量缩短。雷季经常运行的进出线路数 $n=1$ 时, $s \leq 15m$; $n=2$ 时, $s=23m$; $n=3$ 时, $s \leq 27m$; $n \geq 4$ 时, $s \leq 30m$ 。如果 s 超过允许值, 应在变压器附近增设一组阀式避雷器 ② 避雷器应以最短的接地线与变配电所主接地网连接, 包括通过电缆金属外皮与主接地网连接 ③ 接地电阻要求参看表 ZY9-17
	装设避雷器或放电间隙	高压架空线路上个别绝缘薄弱地点	
	低 压 侧	装设避雷器或击穿保险器		多雷区的配电变压器低压侧相线上及低压侧不接地中性点

6. 保护变配电所和电力线路的避雷针保护范围 如表 ZY9-28 所示。

表 ZY9-28 保护变电所和电力线路的避雷针保护范围 (据 GB164—83)

序号	项 目	保护范围示意图	计 算 方 法
1	单支避雷针的保护范围	<p style="text-align: center;">被保护物</p> <p style="text-align: center;">h_x高度水平面上保护范围</p>	<p>① 地面上的保护半径 (m)</p> $r = 1.5h$ <p>式中, h 为避雷针高度 (m)</p> <p>② 在被保护物高度 h_x 水平面上的保护半径 (m)</p> <p>a. 当 $h_x \geq 0.5h$ 时</p> $r_x = h_0 = h - h_x$ <p>b. 当 $h_x < 0.5h$ 时</p> $r_x = 1.5h - 2h_x$ <p>式中, h_0 为避雷针有效高度 (m); h_x 为被保护物高度 (m)</p>
2	双支等高避雷针的保护范围	<p style="text-align: center;">被保护物范围</p> <p style="text-align: center;">h_x高度水平面上保护范围</p> <p style="text-align: center;">O—O'截面的保护范围</p>	<p>① 两针外侧的保护范围: 按序号 1 的方法确定</p> <p>② 两针间保护范围边沿最低点的高度 (m)</p> $h_0 = h - \frac{D}{7}$ <p>式中, D 为两针间距离 (m)</p> <p>③ 两针间 h_x 高度水平面上的最小保护宽度 (m)</p> $b_x = 1.5 (h_0 - h_x)$
3	三支等高避雷针的保护范围		<p>① 三支针所形成的三角形 ABC 外侧保护范围: 按序号 2 的方法确定</p> <p>② 相邻针间最小保护宽度 (m)</p> $b_x \geq 0$

(续)

序号	项目	保护范围示意图	计算方法
4	四支等高避雷针的保护范围		① 四支针所形成的四边形 ABCD 外侧保护范围: 先分成两个三角形, 然后按序号 3 的方法确定 ② 相邻针间最小保护宽度 (m) $b_x \geq 0$

注: 本表所示保护范围均按避雷针高度 $h \leq 30\text{m}$ 计。如果 $30\text{m} < h \leq 120\text{m}$ 时, 则表中计算公式中的 r 和 r_x 均应乘以高度影响系数 $p = 5.5/\sqrt{h}$, h 为避雷器高度 (m)。

7. 保护变配电所和电力线路的避雷线保护范围 如表 ZY9-29 所示。

表 ZY9-29 保护变配电所和电力线路的避雷线保护范围 (据 GBJ64—83)

序号	项目	保护范围示意图	计算方法
1	单根避雷线的保护范围		在被保护物高度 h_x 水平面上的保护范围 ① 当 $h_x \geq 0.5h$ 时 $r_x = 0.47(h - h_x)$ ② 当 $h_x < 0.5h$ 时 $r_x = (h - 1.53h_x)$ 式中, h 为避雷线最大弧垂点的高度 (m); h_x 为被保护物高度 (m); r_x 为 h_x 高度水平面上避雷线一侧保护宽度 (m)
2	两根等高平行避雷线的保护范围		① 两线外侧的保护范围: 按序号 1 的方法确定 ② 两线间各横截面的保护范围: 由 A、B 点及 O 点的圆弧确定。O 点 (弧垂点) 的高度 $h_0 = h - \frac{D}{4}$ ③ 两线端部的保护范围: 可按双支避雷针的方法确定。等效避雷针高度可近似地取为避雷线悬挂点高度的 80%

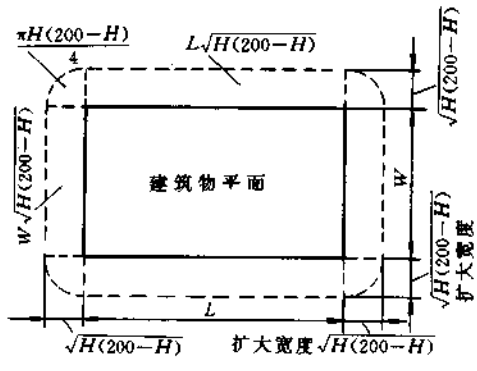
8. 建筑物的防雷分类 如表 ZY9-30 所示。

表 ZY9-30 建筑物的防雷分类 (据 GB50057—94)

序号	类别	说明
1	第一类防雷建筑物	① 凡制造、使用或贮存炸药、火药、起爆药、火工品等大量爆炸物质的建筑物, 因电火花而引起爆炸, 会造成巨大破坏和人身伤亡者 ② 具有 0 区或 10 区爆炸危险环境的建筑物 ③ 具有 1 区爆炸危险环境的建筑物, 因电火花而引起爆炸, 会造成巨大破坏和人身伤亡者
2	第二类防雷建筑物	① 国家级重点文物保护的建筑物 ② 国家级的会堂、办公建筑物、大型展览和博览建筑物、大型火车站、国宾馆、国家级档案馆、大型城市的重要给水水泵房等特别重要的建筑物 ③ 国家级计算中心、国际通信枢纽等对国民经济有重要意义且装有大量电子设备的建筑物 ④ 制造、使用或贮存爆炸物质的建筑物, 且电火花不易引起爆炸或不致造成巨大破坏和人身伤亡者 ⑤ 具有 1 区爆炸危险环境的建筑物, 且电火花不易引起爆炸或不致造成巨大破坏和人身伤亡者 ⑥ 具有 2 区或 11 区爆炸危险环境的建筑物 ⑦ 工业企业内有爆炸危险的露天钢质封闭气罐 ⑧ 预计雷击次数大于 0.06 次/年的部、省级办公建筑物及其它重要或人员密集的公共建筑物 ⑨ 预计雷击次数大于 0.3 次/年的住宅、办公楼等一般性民用建筑物
3	第三类防雷建筑物	① 省级重点文物保护的建筑物及省级档案馆 ② 预计雷击次数大于或等于 0.012 次/年且小于或等于 0.06 次/年的部、省级办公建筑物及其它重要或人员密集的公共建筑物 ③ 预计雷击次数大于或等于 0.06 次/年且小于或等于 0.3 次/年的住宅、办公楼等一般性民用建筑物 ④ 预计雷击次数大于或等于 0.06 次/年的一般性工业建筑物 ⑤ 根据雷击后对工业生产的影响及产生的后果, 并结合当地气象、地形、地质及周围环境等因素, 确定需要防雷的 21 区、22 区、23 区火灾危险环境 ⑥ 在平均雷暴日大于 15 日/年的地区, 高度在 15m 及以上的烟囱、水塔等孤立的高耸建筑物; 在平均雷暴日小于或等于 15 日/年的地区, 高度在 20m 及以上的烟囱、水塔等孤立的高耸建筑物

建筑物年预计雷击次数应由下式确定:

$$N = 0.024KT_f^2 A_e$$
 式中, K 为校正系数, 在一般情况下取 1。在下列情况下取相应数值: 位于旷野的孤立建筑物取 2; 金属屋面的砖木结构建筑物取 1.7; 位于河边、湖边、山坡下或山地中土壤电阻率较小处、地下水露头处、土山顶部、山谷风口等处的建筑物, 以及特别潮湿的建筑物取 1.5, T_f 为年平均雷暴日, 根据当地气象台、站资料确定; A_e 为与建筑物截收相同雷击次数的等效面积 (km^2)



(续)

序号	类别	说明
备注		<p>A_s 应取其实际平面面积向外扩大后的面积 (如上图所示)</p> <p>① 当建筑物 $H < 100\text{m}$ 时:</p> $A_s = [LW + 2(L+W) \sqrt{H(200-H)} + \pi H(200-H)] \times 10^{-6}$ <p>式中, L、W、H 分别为建筑物的长、宽、高 (m)</p> <p>② 当建筑物 $H \geq 100\text{m}$ 时:</p> $A_s = [LW + 2H(L+W) + \pi H^2] \times 10^{-6}$ <p>③ 当建筑物各部位的高不同时, 应沿建筑物周边逐点算出最大扩大宽度, 其 A_s 应按每点最大扩大宽度外端的连接线所包围的面积计算</p>

9. 建筑物的防雷措施 如表 ZY9-31 所示。

表 ZY9-31 建筑物的防雷措施 (据 GB50057—94)

序号	类别	防雷措施
1	第一类防雷建筑物的防雷措施	
1.1	防直击雷的措施	<p>① 装设独立避雷针或架空避雷线、避雷网, 使被保护的建筑物及风帽、放散管等突出屋面的物体均处于接闪器的保护范围内</p> <p>② 架空避雷网的网格尺寸不应大于: $5\text{m} \times 5\text{m}$ 或 $6\text{m} \times 4\text{m}$</p> <p>③ 排放爆炸危险气体、蒸汽或粉尘的放散管、呼吸阀、排风管等的管口外的一定空间 (GB50057—94 中表 3.2.1 规定) 也应处于接闪器的保护范围内</p> <p>④ 独立避雷针的杆塔、架空避雷线的端部和架空避雷网的各支柱处, 应至少设一根引下线</p> <p>⑤ 独立避雷针和架空避雷线、网的各支柱处及其接地装置至被保护建筑物及与其有联系的管道、电缆等金属物之间的距离不得小于 3m</p> <p>⑥ 架空避雷线、网至屋面和各种突出屋面的风帽、放散管等物体之间的距离, 也不得小于 3m</p> <p>⑦ 独立避雷针及架空避雷线、网应有独立的接地装置, 每一引下线的冲击接地电阻不宜大于 10Ω。在土壤电阻率高的地区, 可适当增大冲击接地电阻</p> <p>⑧ 当建筑物高于 30m 时, 尚应采取以下防侧击的措施: a. 从 30m 起每隔不大于 6m 沿建筑物四周设水平避雷带并与引下线相连; b. 30m 及以上外墙上的栏杆、门窗等较大的金属物与防雷装置连接; c. 在电源引入的总配电箱处宜装设过电压保护器</p>
1.2	防雷电感应的措施	<p>① 建筑物内的设备、管道、构架、电缆金属外皮、钢屋架、钢窗等较大金属物和突出屋面的放散管、风管等金属物, 均应接到防雷电感应的接地装置上。金属屋面周边和钢筋混凝土屋面周边, 均应每隔 $18 \sim 24\text{m}$ 采用引下线接地一次</p> <p>② 平行敷设的管道、构架和电缆金属外皮等长金属物, 其净距小于 100mm 时应采用金属线跨接, 跨接点的间距不应大于 30m; 交叉净距小于 100mm 时, 其交叉处亦应用金属线跨接</p> <p>③ 防雷电感应的接地装置应与电气设备接地装置共用, 其工频接地电阻不应大于 10Ω。防雷电感应的接地装置与独立接闪器的接地装置之间的距离不得小于 3m</p>

(续)

序号	类别	防 雷 措 施
1.3	防雷电波侵入的措施	<p>① 低压线路宜全线采用电缆直接埋地敷设。在入户端应将电缆的金属外皮、钢管接到防雷电感的接地装置上。当全线采用电缆有困难时,可采用钢筋混凝土杆和铁横担的架空线,并应使用一段金属铠装电缆或护套电缆穿钢管直接埋地引入,其埋地长度 $l \geq 2\sqrt{\rho}$,且不应小于15m,式中 ρ 为埋电缆处的土壤电阻率 ($\Omega \cdot m$)。在电缆与架空线连接处,尚应装设避雷器。避雷器、电缆金属外皮、钢管和绝缘子铁脚、金具等应连在一起接地,其冲击接地电阻不应大于 10Ω</p> <p>② 架空金属管道,在进出建筑物处,应与防雷电感的接地装置相连。距离建筑物100m内的管道,应每隔25m左右接地一次,其冲击接地电阻不应大于 20Ω,并宜利用金属支架或钢筋混凝土支架的焊接、绑扎钢筋作为引下线,其钢筋混凝土基础宜作为接地装置</p> <p>③ 埋地或地沟内的金属管道,在进出建筑物处亦应与防雷电感的接地装置相连</p>
2	第二类防雷建筑物的防雷措施	
2.1	防直击雷的措施	<p>① 宜采用装设在建筑物上的避雷网(带)或避雷针或由其混合组成的接闪器</p> <p>② 避雷网应采用不大于 $10m \times 10m$ 或 $12m \times 8m$ 的网格布满整个屋面</p> <p>③ 排放爆炸危险气体、蒸汽或粉尘的放散管、呼吸阀、排风管等管道口外的一定空间也应在接闪器保护范围内</p> <p>④ 引下线不应少于两根,间距不应大于18m</p> <p>⑤ 每根引下线的冲击接地电阻不应大于 10Ω</p> <p>⑥ 防直击雷接地与防雷电感应、电气设备等接地共用同一接地装置,并宜与埋地金属管道相连。当不共用、不相连时,两者在地中间距不得小于2m</p> <p>⑦ 高度超过45m的钢筋混凝土结构、钢结构建筑物,应利用本身钢筋、钢柱等作防雷引下线,与防雷装置连接,以防侧击雷。并应将45m及以上外墙上的栏杆、门窗等较大金属物与防雷装置连接</p>
2.2	防雷电感的措施 (适于第二类防雷建筑物中④⑤⑥类)	<p>① 建筑物内的设备、管道、构架等主要金属物,应就近接至防直击雷接地装置或电气设备保护接地装置上</p> <p>② 平行敷设的管道、构架和电缆金属外皮等长金属物在净距小于100mm时,应采用金属线跨接</p> <p>③ 建筑物内防雷电感的接地干线与接地装置的连接不应少于两处</p> <p>④ 防止雷电流流经引下线和接地装置时产生的高电位对附近金属物或电气线路的反击,引下线与附近金属物和电气线路的间距应满足 GB50057—94 规定的要求</p>
2.3	防雷电波侵入的措施	<p>① 当低压线路全长采用埋地电缆或敷设在架空金属线槽内的电缆引入时,在入户端应将电缆金属外皮、金属线槽接地。对第二类建筑物中④、⑤、⑥类(表ZY9—29序号2)建筑物,上述金属物应与防雷的接地装置相连</p> <p>② 对第二类建筑物中④、⑤、⑥类,如低压架空线,应改换一段埋地金属铠装电缆或护套电缆穿钢管直接埋地引入,埋地长度不得小于15m。入户端电缆的金属外皮、钢管应与防雷的接地装置相连。在架空线与电缆连接处,尚应装设避雷器。避雷器、电缆金属外皮、钢管和绝缘子铁脚、金具等应连在一起接地,其冲击接地电阻不应大于 10Ω。对其平均雷暴日小于30日/年地区的建筑物,可采用低压架空线直接引入建筑物内,但应符合下列要求: a. 在入户处,应装设避雷器或保护间隙(2~3mm),并与绝缘子铁脚、金具连在一起接到防雷的接地装置上,其冲击接地电阻不应大于 5Ω。 b. 入户处的三基电杆绝缘子铁脚、金具应接地。靠近建筑物的电杆,其冲击接地电阻不应大于 10Ω,对其余两基电杆不应大于 20Ω</p>

(续)

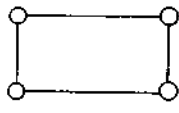
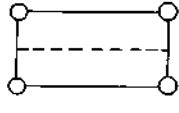
序号	类别	防 雷 措 施
2.3	防雷电波侵入的措施	<p>③ 对第二类建筑物中除④~⑦类外的所有建筑物(非爆炸危险建筑物),当低压架空线改换金属铠装电缆或护套电缆穿钢管直接埋地引入时,其埋地长度、入户端金属物接地及冲击接地电阻值等要求,与上述②条相同。但当架空线直接引入时,在入户处应加装避雷器,并将其与绝缘子铁脚、金具连在一起接到电气设备的接地装置上。靠近建筑物的两基电杆上的绝缘子铁脚应接地,其冲击接地电阻不应大于30Ω</p> <p>④ 架空和直接埋地的金属管道在进出建筑物处应就近与防雷的接地装置相连;当不相连时,架空管道应接地,其冲击接地电阻不应大于10Ω。对上述第二类建筑物中的④、⑤、⑥类的架空金属管道,尚应在距建筑物的25m处接地一次,其冲击接地电阻不应大于10Ω</p>
2.4	有爆炸危险的露天钢质气罐的防雷要求	<p>对有爆炸危险的露天钢质封闭气罐(属第二类建筑物中⑦类,表ZY9-29),当其壁厚不小于4mm时,可不装设接闪器,但应接地,且接地点不应少于两处,冲击接地电阻不应大于30Ω</p>
3	第三类防雷建筑物的防雷措施	
3.1	防直击雷的措施	<p>① 宜采用装在建筑物上的避雷网(带)或避雷针或由这两种混合组成的接闪器。避雷网(带)应按表ZY9-30所示沿屋角、屋脊、屋檐和檐角等易受雷击部位敷设,并应在整个屋面组成不大于$20m \times 20m$或$24m \times 16m$的网格。平屋面的建筑物,当其宽度不大于20m时,可仅沿周边敷设一圈避雷带</p> <p>② 每根引下线的冲击接地电阻不宜大于30Ω,但对预计雷击次数大于或等于0.012次/年,且小于或等于0.06次/年的部、省级办公建筑物及其它重要或人员密度的公共建筑物,其冲击接地电阻不宜大于10Ω。其接地装置宜与电气设备等接地装置共用,防雷的接地装置宜与埋地金属管道相连。当不共用、不相连时,两者间在地中的距离不应小于2m。在共用接地装置与埋地金属管道相连的情况下,接地装置宜围绕建筑物敷设成环形接地体</p> <p>③ 建筑物宜利用钢筋混凝土屋面板、梁、柱和基础的钢筋作为接闪器、引下线和接地装置,但构件之间必须连成电气通路</p> <p>④ 砖烟囱、钢筋混凝土烟囱,宜在烟囱上装设避雷针或避雷环保护。多支避雷针应连接在闭合环上,高度不超过40m的烟囱,可只设一根引下线;超过40m时应设两根。金属烟囱应作为接闪器和引下线</p> <p>⑤ 高度超过60m的建筑物,应考虑其防侧击和等电位的保护措施,如本表序号2.1的⑦所述,但需与防雷装置连接的外墙上的栏杆、门窗等为60m及以上</p>
3.2	防雷电磁感应的措施	<p>为防止雷电流流经引下线和接地装置时产生的高电位对附近金属物或电气线路的反击,引下线与附近金属物和电气线路的间距应满足规范的要求</p>
3.3	防雷电波侵入的措施	<p>① 对电缆进出线,应在进出端将电缆的金属外皮、钢管等与电气设备接地相连。当电缆转换为架空线时,应在转换处装设避雷器。避雷器、电缆金属外皮和绝缘子铁脚、金具等应连在一起接地,其冲击接地电阻不宜大于30Ω</p> <p>② 对低压架空进出线,应在进出处装设避雷器,并与绝缘子铁脚、金具连在一起接到电气设备的接地装置上。当多回路架空进出线时,可在母线或总配电箱处装设一组避雷器或其它型式的过电压保护器,但绝缘子铁脚、金具仍应接到接地装置上</p> <p>③ 进出建筑物的架空金属管道,在进出处应就近接到防雷或电气设备的接地装置上或独自接地,其冲击接地电阻不宜大于30Ω</p>
4	其它防雷措施	
4.1	兼有一、二、三类防雷建筑物的建筑物分类和防雷措施	<p>当一座建筑物兼有第一、二、三类防雷建筑物时,其防雷分类和防雷措施应符合下列规定:</p> <p>① 当第一类防雷建筑物的面积占建筑物总面积的30%及以上时,该建筑物宜确定为第一类防雷建筑物</p>

(续)

序号	类别	防 雷 措 施
4.1	兼有一、二、三类防雷建筑物的建筑物防雷分类和防雷措施	<p>② 当第一类防雷建筑物的面积占建筑物总面积的 30% 以下, 且第二类防雷建筑物的面积占建筑物总面积的 30% 及以上时, 或当这两类防雷建筑物的面积均小于建筑物总面积的 30%, 但其面积之和又大于 30% 时, 该建筑物宜确定为第二类防雷建筑物。但对第一类防雷建筑物的雷电感应和防雷电波侵入, 应采取第一类防雷建筑物的保护措施</p> <p>③ 当第一、二类防雷建筑物的面积之和小于建筑物总面积的 30%, 且不可能遭受直接雷击时, 该建筑物可确定为第三类防雷建筑物, 但对第一、二类防雷建筑物的雷电感应和防雷电波侵入, 应采取各自类别的保护措施, 当可能遭直接雷击时, 亦宜按各自类别采取防雷措施</p>
4.2	建筑物中仅有部分为一、二、三类防雷建筑物的防雷措施	<p>当一座建筑物中仅有一部分为第一、二、三类防雷建筑物时, 其防雷措施宜符合下列规定:</p> <p>① 当防雷建筑物可能遭直接雷击时, 宜按各自类别采取防雷措施</p> <p>② 当防雷建筑物不可能遭受直接雷击时, 可不采取防直击雷措施, 而仅按各自类别采取雷电感应和防雷电波侵入的措施</p> <p>③ 当防雷建筑物的面积占建筑物总面积的 50% 以上时, 该建筑物宜按本表序号 4.1 的规定采取防雷措施</p>
4.3	装在建筑物上面的彩灯、信号灯的防雷措施	<p>固定在建筑物上的节日彩灯、航空障碍信号灯及其它用电设备的线路, 应根据建筑物的重要性采取相应的防雷电波侵入的措施, 并应符合下列规定:</p> <p>① 无金属外壳或保护网罩的用电设备宜处在接闪器的保护范围内, 不宜布置在避雷网之外, 且不宜高出避雷网</p> <p>② 从配电盘引出的线路宜穿钢管。钢管的一端宜与配电盘外壳相连, 另一端宜与用电设备外壳、保护罩相连, 并宜就近与屋顶防雷装置相连</p> <p>③ 在配电盘内, 宜在开关的电源侧与外壳之间装设过电压保护器</p>
4.4	粮、棉及易燃物大量集中的露天堆场的防雷措施	<p>宜采取防直击雷措施</p> <p>当其预计雷击次数大于或等于 0.06 次/年时, 宜采用独立避雷针或架空避雷线防直击雷。独立避雷针和架空避雷线保护范围的滚球半径 h_r 可取 100m</p> <p>在计算雷击次数时, 建筑物的高度可按堆放的高度计算, 其长度和宽度可按可能堆放面积的长度和宽度计算</p>

10. 建筑物易受雷击的部位 如表 ZY9-32 所示。

表 ZY9-32 建筑物易受雷击的部位 (据 GB50057—94)

序号	屋面情况	易受雷击部位示意图	备 注
1	平屋顶		<p>① 图例: —— 易受雷击部位 ---- 不易受雷击的屋脊或屋檐 ○ 雷击率最高部位</p> <p>② 对序号 3 和 4 所示建筑物, 在屋脊有避雷带的情况下, 当屋檐处于屋脊避雷带的保护范围内时, 屋檐上可不设避雷带</p>
2	坡度不大于 1/10 的屋面		

(续)

序号	屋面情况	易受雷击部位示意图	备注
3	坡度大于 1/10 而小于 1/2 的屋面		① 图例： —— 易受雷击部位 ---- 不易受雷击的屋脊或屋檐 ○ 雷击率最高部位 ② 对序号 3 和 4 所示建筑物，在屋脊有避雷带的情况下，当屋檐处于屋脊避雷带的保护范围内时，屋檐上可不设避雷带
4	坡度不小于 1/2 的屋面		

11. 保护建筑物的接闪器保护范围 确定接闪器保护范围的滚球半径及避雷网的网格尺寸，如表 ZY9-33 所示。保护建筑物的避雷针保护范围，如表 ZY9-34 所示。保护建筑物的避雷线保护范围，如表 ZY9-35 所示。

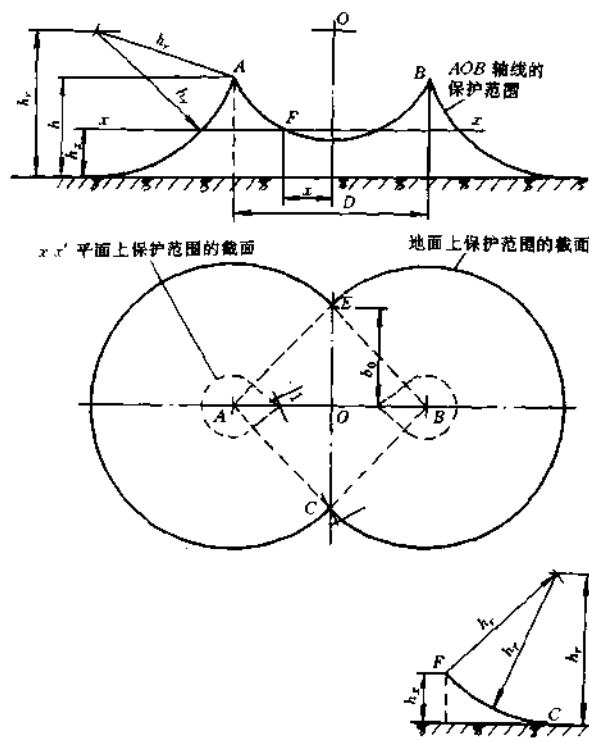
表 ZY9-33 确定接闪器保护范围的滚球半径及避雷网的网格尺寸 (据 GB50057—94)

序号	建筑物的防雷类别	滚球半径 h_r/m	避雷网网格尺寸 $m \times m$
1	第一类防雷建筑物	30	$\leq 5 \times 5$ 或 $\leq 6 \times 4$
2	第二类防雷建筑物	45	$\leq 10 \times 10$ 或 $\leq 12 \times 8$
3	第三类防雷建筑物	60	$\leq 20 \times 20$ 或 $\leq 24 \times 16$

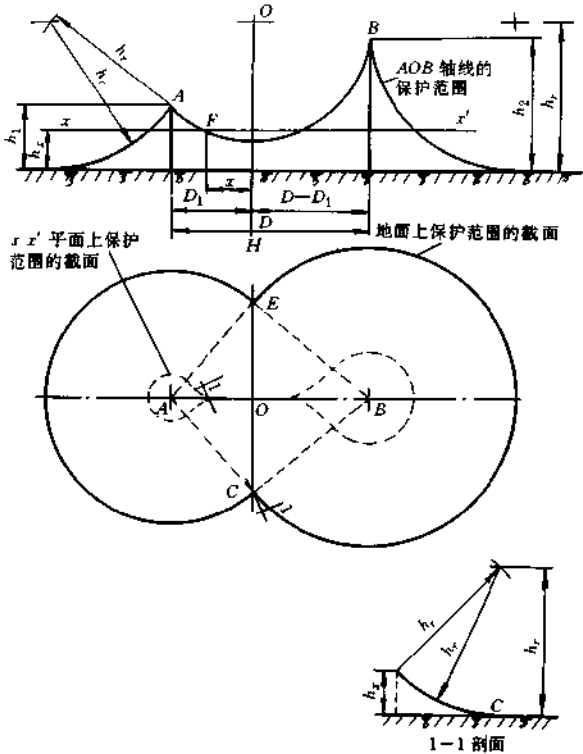
表 ZY9-34 保护建筑物的避雷针保护范围 (据 GB50057—94)

序号	类别	保护范围及其确定
1	单支避雷针的保护范围	示意图

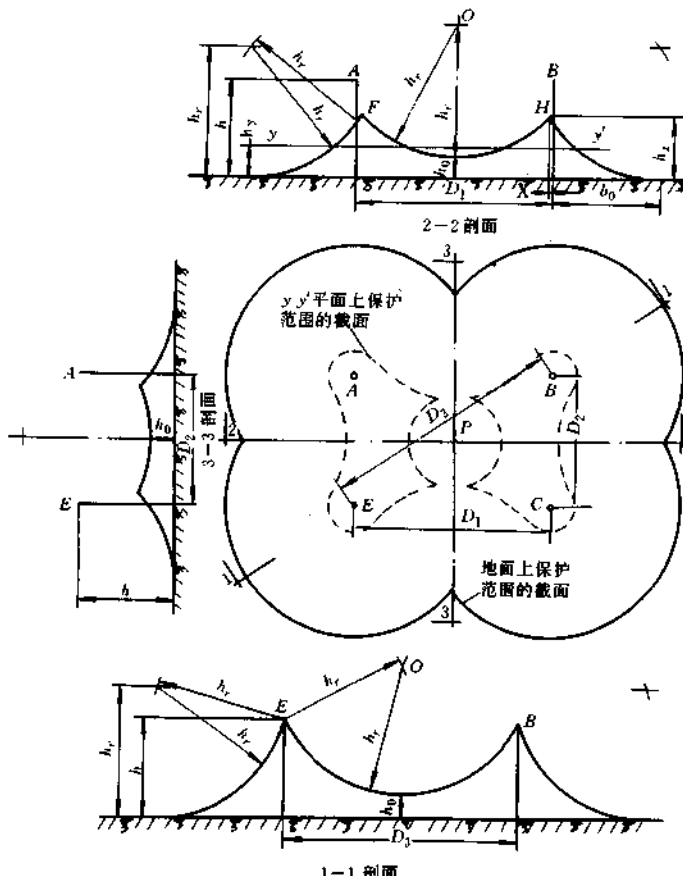
x-x' 平面上保护范围的截面

序号	类别	保护范围及其确定
1	单支避雷针的保护范围	<p>确定方法</p> <p>① 当避雷针高度 $h \leq h_r$ 时:</p> <ol style="list-style-type: none"> 距地面 h_r 处作一平行于地面的平行线 以针尖为圆心, h_r 为半径, 作弧线交于平行线的 A、B 两点 以 A、B 为圆心, h_r 为半径作弧线, 该弧线与针尖相交并与地面相切。从此弧线起至地面上就是保护范围。保护范围是一个对称的锥体 避雷针在 h_x 高度的 xx' 平面上和在地面上的保护半径, 按下列计算式确定: $r_x = \sqrt{h(2h_r - h)} - \sqrt{h_x(2h_r - h_x)}$ $r_0 = \sqrt{h(2h_r - h)}$ <p>式中, r_x 为避雷针在 h_x 高度的 xx' 平面上的保护半径 (m); h_r 为滚球半径, 按表 ZY9-33 确定 (m); h_x 为被保护物的高度 (m); r_0 为避雷针在地面上的保护半径 (m)</p> <p>② 当避雷针高度 $h > h_r$ 时: 在避雷针上取高度 h_r 的一点代替单支避雷针针尖作为圆心。其余的作法同①</p>
2	双支等高避雷针的保护范围	<p>示意图</p>  <p>确定方法</p> <p>在避雷针高度 $h \leq h_r$ 的情况下, 当两支避雷针的距离 $D \geq 2\sqrt{h(2h_r - h)}$ 时, 保护范围应按各单支避雷针的方法确定; 当 $D < 2\sqrt{h(2h_r - h)}$ 时, 保护范围应按下列方法确定</p> <ol style="list-style-type: none"> AEBC 外侧的保护范围, 按单支避雷针的方法确定 C、E 点位于两针间的垂直平分线上。在地面每侧的最小保护宽度 b_0 按下式计算: $b_0 = CO = EO = \sqrt{h(2h_r - h) - \left(\frac{D}{2}\right)^2}$

(续)

序号	类别	保护范围及其确定
2	双支等高避雷针的保护范围	<p>在 AOB 轴线上, 距中心线任一距离 x 处, 其在保护范围上边线上的保护高度 h_x 按下式确定:</p> $h_x = h_r - \sqrt{(h_r - h)^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2 - x^2}$ <p>该保护范围上边线是以中心线距地面 h_r 的一点 O' 为圆心, 以 $\sqrt{(h_r - h)^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2}$ 为半径所作的圆弧 AB</p> <p>③ 两针间 $AEBC$ 内的保护范围, ACO 部分的保护范围按以下方法确定: 在任一保护高度 h_x 和 C 点所处的垂直平面上, 以 h_x 作为假想避雷针, 按单支避雷针的方法逐点确定 (见图 的 1-1 剖面图)。确定 BCO、AEO、BEO 部分的保护范围的方法与 ACO 部分的相同</p> <p>④ 确定 xx' 平面上保护范围截面的方法: 以单支避雷针的保护半径 r_x 为半径, 以 A、B 为圆心作弧线与四边形 $AEBC$ 相交; 以单支避雷针的 $(r_0 - r_x)$ 为半径, 以 E、C 为圆心作弧线与上述弧线相接, 见上图中的粗虚线</p>
3	双支不等高避雷针的保护范围	<p>示意图</p>  <p>确定方法</p> <p>在 $h_1 \leq h_r$ 和 $h_2 \leq h_r$ 的情况下, 当 $D \geq \sqrt{h_1(2h_r - h_1)} + \sqrt{h_2(2h_r - h_2)}$ 时, 保护范围应按单支避雷针所规定的方法确定; 当 $D < \sqrt{h_1(2h_r - h_1)} + \sqrt{h_2(2h_r - h_2)}$ 时, 保护范围应按下列方法确定 (见上图)</p> <p>① $AEBC$ 外侧的保护范围, 按单支避雷针的方法确定</p> <p>② CE 线或 HO' 线的位置按下式计算:</p> $D_1 = \frac{(h_r - h_2)^2 - (h_r - h_1)^2 + D^2}{2D}$

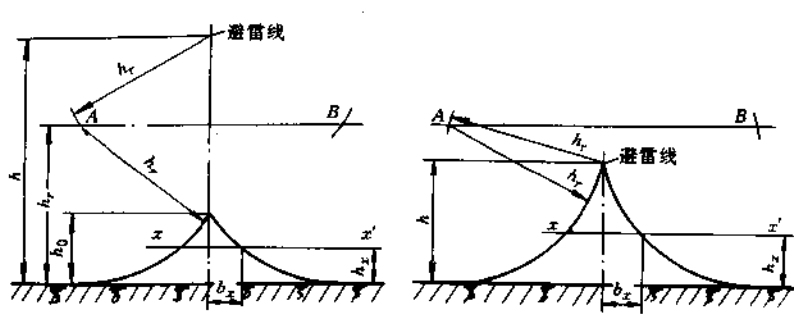
(续)

序号	类别	保护范围及其确定
3	双支不等高避雷针的保护范围	<p>③ 在地面上每侧的最小保护宽度 b_0 按下式计算:</p> $b_0 = CO = EO = \sqrt{h_1(2h_r - h_1) - D_1^2}$ <p>在 AOB 轴线上, A, B 间保护范围上边线按下式确定:</p> $h_x = h_r - \sqrt{(h_r - h_1)^2 + D_1^2 - x^2}$ <p>式中, x 为距 CE 线或 HO' 线的距离</p> <p>该保护范围上边线是以 HO' 线上距地面 h_r 的一点 O' 为圆心, 以 $\sqrt{(h_r - h_1)^2 + D_1^2}$ 为半径所作的圆弧 AB</p> <p>④ 两针间 $AEBC$ 内的保护范围, ACO 与 AEO 是对称的, BCO 与 BEO 也是对称的。 ACO 部分的保护范围按以下方法确定: 在 h_r 和 C 点所处的垂直平面上, 以 h_r 作为假想避雷针, 按单支避雷针的方法确定 (见上图的 1-1 剖面图)。确定 AEO, BCO, BEO 部分的保护范围的方法与 ACO 部分的相同</p> <p>⑤ 确定 xx' 平面上保护范围截面的方法与双支等高避雷针相同</p>
4	矩形布置的四支等高避雷针的保护范围	<p>示意图</p>  <p>The diagram illustrates the protection range of four equally high lightning rods arranged in a rectangle. It includes three main views: a 2-2 cross-section showing the rods A, B, C, D and their protection curves, a 3-3 cross-section showing the ground protection range, and a 1-1 cross-section showing the protection range on a vertical plane through two rods. Labels include h_r (rod height), h (ground level), h_0 (ground protection height), D_1, D_2 (rod spacings), and P (center point).</p>

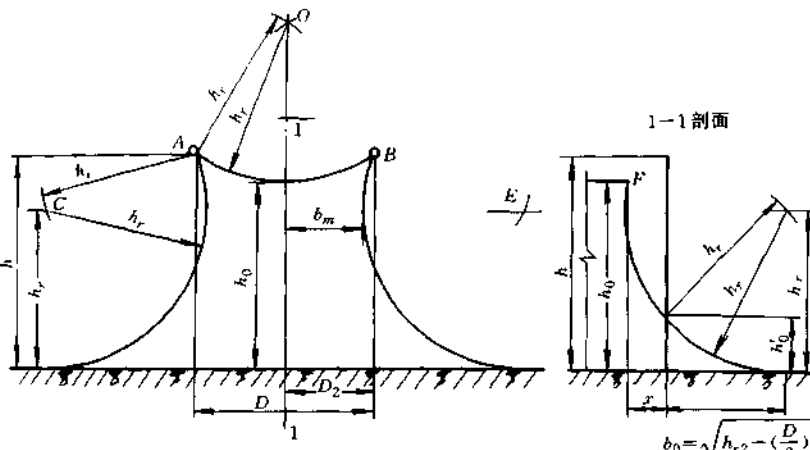
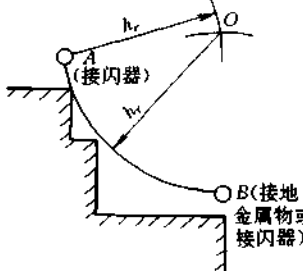
(续)

序号	类别	保护范围及其确定
4	矩形布置的四支等高避雷针的保护范围	<p>确定方法</p> <p>在 $h \leq h_r$ 的情况下, 当 $D_3 \geq 2\sqrt{h(2h_r-h)}$ 时, 保护范围应按双支等高避雷针的方法确定; 当 $D_3 < 2\sqrt{h(2h_r-h)}$ 时, 保护范围应按下列方法确定 (见上图)</p> <p>① 四支避雷针的外侧各按双支避雷针的方法确定</p> <p>② B、E 避雷针连线上的保护范围见上图的 1—1 剖面图。外侧部分按单支避雷针的方法确定。两针间的保护范围按以下方法确定: 以 B、E 两针针尖为圆心、h_r 为半径作圆弧, 与针尖相连的这段圆弧即为针间保护范围。保护范围最低点的高度 h_0 按下式计算:</p> $h_0 = \sqrt{h^2 - \left(\frac{D_3}{2}\right)^2} + h - h_r$ <p>③ 上图的 2—2 剖面的保护范围, 以 P 点的垂直线上的 O 点 (距地面的高度为 $h_r + h_0$) 为圆心, h_r 为半径作圆弧与 B、C 和 A、E 双支避雷针所作出的在该剖面外侧的保护范围延长圆弧相交于 F、H 点, F 点 (H 点与此类同) 的位置及高度可按下列计算式确定:</p> $\begin{cases} (h_r - h_x)^2 = h^2 - (b_0 + x)^2 \\ (h_r + h_0 - h_x)^2 = h^2 - \left(\frac{D_1}{2} - x\right)^2 \end{cases}$ <p>④ 确定上图的 3—3 剖面保护范围的方法与上述③相同</p> <p>⑤ 确定四支等高避雷针中间在 h_0 至 h 之间于 h_y 高度的 yy' 平面上保护范围截面的方法: 以 P 点为圆心、$\sqrt{2h_r(h_r - h_0) - (h_y - h_0)^2}$ 为半径作圆或圆弧, 与各双支避雷针在外侧所作的保护范围截面组成该保护范围截面, 见上图中的虚线</p>

表 ZY9-35 保护建筑物的避雷线保护范围 (据 GB50057—94)

序号	类别	保护范围及其确定
1	单根避雷线的保护范围	<p>示意图</p>  <p>a) 当 h 小于 $2h_r$, 但大于 h_r 时</p> <p>b) 当 h 小于或等于 h_r 时</p> <p>确定方法</p> <p>当避雷线的高度 $h \geq 2h_r$ 时, 无保护范围</p> <p>当避雷线的高度 $h < 2h_r$ 时, 保护范围应按下列方法确定 (图 a、b)</p> <p>确定架空避雷线的高度时应计及弧垂的影响。在无法确定弧垂的情况下, 当等高支柱间的距离小于 120m 时, 架空避雷线中点的弧垂宜取 2m, 距离 120~150m 时宜取 3m</p> <p>① 距地面 h_r 处作一平行于地面的平行线</p> <p>② 以避雷线为圆心, h_r 为半径, 作弧线交于平行线的 A、B 两点</p> <p>③ 以 A、B 为圆心, h_r 为半径作弧线, 该两弧线相交或相切, 并与地面相切, 从该弧起到地面上就是保护范围</p>

(续)

序号	类别	保护范围及其确定
3	两根等高避雷线在 $h_r < h \leq 2h_r$ 时的保护范围	<p style="text-align: center;">示意图</p>  <p style="text-align: center;">确定方法</p> <p>在避雷线高度 $h < 2h_r$ 且 $h > h_r$, 两线间距离 $D < 2h_r$ 且 $D > 2(h_r - \sqrt{h(2h_r - h)})$ 的情况下, 保护范围按下列方法确定</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 距地面 h_r 处作一与地面平行的线 ② 以避雷线 A、B 为圆心, h_r 为半径作弧线相交于 O 点, 并与平行线相交或相切于 C、E 点 ③ 以 O 点为圆心, h_r 为半径作弧线交于 A、B 点 ④ 以 C、E 为圆心, h_r 为半径作弧线交于 A、B, 并与地面相切, 此弧线即保护范围 ⑤ 两避雷线之间保护范围最低点的高度 h_0 按下式计算: $h_0 = \sqrt{h_r^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2} + h - h_r$ ⑥ 最小保护宽度 b_m 位于 h_r 高处, 其值按下式计算 $b_m = \sqrt{h(2h_r - h)} + \frac{D}{2} - h_r$ ⑦ 避雷线两端的保护范围, 按双支高度 h_r 的避雷针确定, 但在中线上 h_c 线的内移位置按以下方法确定 (上图的 1-1 剖面): 以双支高度 h_r 的避雷针所确定的中点保护范围最低点的高度 $h'_0 = \left(h_r - \frac{D}{2}\right)$ 作为假想避雷针, 将其保护范围的延长弧线与 h_0 线交于 F 点. 内移位置的距离 x 也可按下式计算: $x = \sqrt{h_0(2h_r - h_0)} - \sqrt{h_r^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2}$
备注	<p>本表及上表各图中所画的地面也可以是位于建筑物上的接地金属物、其它接闪器</p> <p>当接闪器在“地面上保护范围的截面”的外周线触及接地金属物、其它接闪器时, 各图的保护范围均适用于这些接闪器. 当接地金属物、其它接闪器是处在在外周线之内且位于被保护部位的边沿时, 应按以下方法确定所需断面的保护范围 (见右图):</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 以 A、B 为圆心, h_r 为半径作弧线相交于 O 点 ② 以 O 为圆心, h_r 为半径作弧线 AB, 弧线 AB 就是保护范围的上边线 	

主要参考文献

- 1 刘介才编. 工厂供电 (第2版). 北京: 机械工业出版社, 1991
- 2 刘介才主编. 工厂供电简明设计手册. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 3 刘介才编著. 工厂供电 500 问答. 北京: 兵器工业出版社, 1994
- 4 国家标准 GB4776—84 电气安全名词术语. 北京: 中国标准出版社, 1985
- 5 国家标准 GB50169—92 电气装置安装工程. 接地装置施工及验收规范. 北京: 中国计划出版社, 1993
- 6 国家标准 GB50054—95 低压配电设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1996
- 7 国家标准 GB50057—94 建筑物防雷设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1994
- 8 行业标准 JGJ/T16—92 民用建筑电气设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1993
- 9 行业标准 JBJ6—96 机械工厂电力设计规范. 北京: 机械工业出版社, 1997
- 10 行业标准 DL408—91 电业安全工作规程 (发电厂和变电所电气部分). 北京: 水利电力出版社, 1991

十、电气照明 (ZY10)

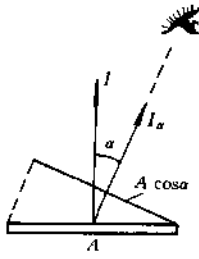
(一) 有关电气照明的名词术语

有关电气照明的名词术语，如表 ZY10-1 所示。

表 ZY10-1 有关电气照明的名词术语

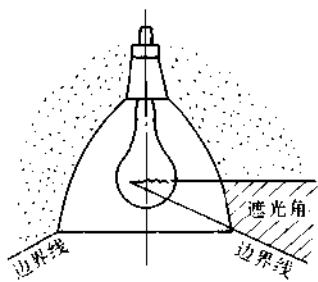
序号	名词术语	含义说明
1	照明 lighting	指光作用于物体及其环境，使其可以看得见的一种现象或方式
2	自然照明 natural lighting	指自然界固有的照明，主要指太阳光照明，又称“天然采光”
3	人工照明 manual lighting	指由人工制造的光源产生的照明，如烛光照明、油灯照明、电气照明等，而现代社会以电气照明为主
4	电气照明 electric lighting	指由电光源产生的照明。电气照明由于具有灯光稳定、易于控制调节及安全、经济等优点，因而成为现代人工照明中应用最为广泛的一种照明方式
5	光 light	一般指能引起视觉的电磁波，这部分的波长范围约在红光的 780nm 到紫光的 380nm 之间。这种能引起人的视觉的光，通称“可见光”。在 780nm 以上到 1mm 的电磁波，称为“红外线”；在 380nm 以下到 1nm 的电磁波，称为“紫外线”。红外线和紫外线虽不能引起视觉，但可用光学仪器测出其存在和数值，因此光学上所指的也包括红外线和紫外线。(注：光的波长范围的界限并不十分确定，因此各说不一)
6	光通量 luminous flux	指在单位时间内，向周围空间辐射出的使人眼产生光感的能量。符号为 Φ ，单位为 lm (流明)
7	光强，发光强度 luminous intensity	指光源在给定方向上的辐射强度，符号为 I ，单位为 cd (坎德拉)。对于向各个方向均匀辐射光通量的光源，各个方向的光强均等，其值为： $I \stackrel{\text{def}}{=} \Phi / \Omega$ 式中， Φ 为光源在立体角 Ω 内所辐射的光通量； $\Omega = A/r^2$ ，此处 A 为与 Ω 相对应的球面积， r 为球的半径
8	照度 illuminance	指受照物体表面单位面积投射的光通量，如果光通量 Φ 均匀地投射在面积为 A 的表面上，则该表面的照度为 $E \stackrel{\text{def}}{=} \Phi / A$ 照度的符号为 E ，单位为 lx (勒克斯)

(续)

序号	名词术语	含义说明
9	亮度 luminance	<p>指发光体（不只是光源，受照物体对人眼来说也可视为间接发光体）在视线方向（见右图）单位投影面上的发光强度。设发光体表面法线方向的光强为 I，而人眼视线与发光体表面法线成 α 角，因此视线方向的光强 $I_a = I \cos \alpha$，而视线方向的投影面 $A_a = A \cos \alpha$，由此可得发光体在视线方向的亮度为</p> $L \stackrel{\text{def}}{=} I_a / A_a = I \cos \alpha / A \cos \alpha = I / A$ <p>这说明发光体的亮度值实际上与视线方向无关，亮度的符号为 L，单位为 cd/m^2（该单位曾称“尼特”，符号 nt，现已废除）</p> 
10	一次光源 primary light source	指由于能量转换而发光的表面或物体，或称“自〔发〕光源”
11	二次光源 secondary light source	指本身并不发光，但在接收光后通过反射或透射至少将一部分光发射出来的面或物体
12	点光源 point source	指光源（辐射源）的尺寸与它到接收器的距离相比，小到在计算中可以忽略不计的一种光源
13	热辐射光源 thermal radiation source	指利用物体加热到白炽状态而辐射发光的原理制成的光源，如白炽灯、卤钨灯等
14	气体放电光源 gas discharge source	指利用气体放电发光的原理所制成的光源，如荧光灯、高压汞灯、高压钠灯、金属卤化物灯和氙灯等
15	发光效率 luminous efficiency (of a source)	指光源单位功率所发射出的光通量，即光源所发射出的光通量与光源功率之比，简称“光效”
16	一般显色指数 general colour rendering index	指由国际照明委员会 (CIE) 规定的八种试验色样，是对由被测光源照明与由参考光源照明时其相符程度的度量，符号为 R_a 。
17	色温〔度〕 colour temperature	指根据发光面颜色估计其实际温度的物理量，它等于辐射同样光谱成分的黑体的温度。其单位为 K（开尔文）
18	眩光 glare	指在视野内由于亮度的分布或范围不适宜，或在空间或时间上存在着极端的亮度对比，以致引起不舒适和降低目标可见度的视觉条件
19	频闪效应 stroboscopic effect	指在以一定频率变化的光的照射下，观察到的物体运动显现出不同于其实际运动的现象。例如旋转的电机在荧光灯的照射下，由于荧光灯存在着频闪效应，因此其高速旋转部分往往显现出不转或旋转很慢，而给人以错觉
20	视觉作业 vision operation	指在工作和活动中，必须观察的呈现在背景前的细节或目标
21	识别对象 discern an object	指识别的物体和细部（如需要识别的点、线、伤痕、污点等）

(续)

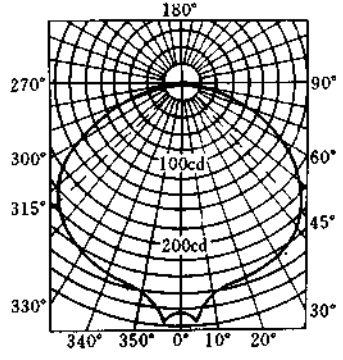
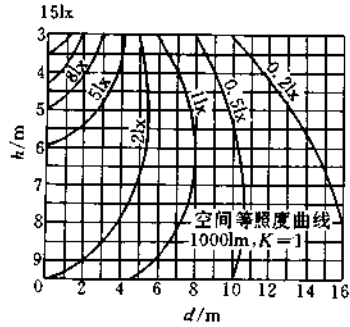
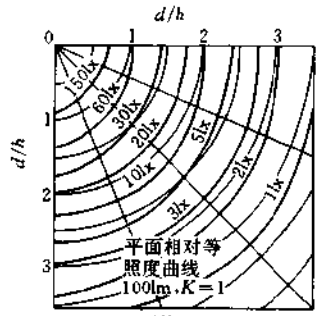
序号	名词术语	含义说明
22	工作面 working surface	通常指在其上面进行工作的平面,也是规定和测量照度的平面,当没有其它规定时,一般把室内照明的工作面假设为离地面 0.75m 高的水平面 (旧标准 TJ34/79 规定为离地 0.8m)
23	灯具效率 light output ratio of a lighting fitting	指在规定条件下测得的灯具发射光通量 (lm) 与灯具内的全部光源在灯具外按规定条件点燃时发射的总光通量之比
24	(灯具的) 遮光角 cut-off angle (of a lighting fitting)	指光源最边缘的一点和灯具出光口的连线与通过裸光源发光中心的水平线之间的夹角,如图所示。过去称“保护角”
25	照度均匀度 uniformity ratio of illuminance	表示给定平面上照度变化的度量,为给定平面的最低照度与平均照度之比
26	维护系数 maintenance factor	指灯具使用一定时期后,在工作面上产生的平均照度与该灯具新装时在同样条件下产生的平均照度之比。过去称“照度补偿系数”、“减光系数”(LLF)
27	反射比 reflectance	指从一个表面反射出来的光通量与入射该表面的光通量之比。又称“反射因数”
28	一般照明 general lighting	指不考虑特殊局部的需要,为照亮整个场地而设置的照明
29	分区一般照明 general lighting	指根据需要,提高特定区域照度的一般照明
30	局部照明 localized lighting	指为满足某些部位(如工作面)的特殊需要而设置的照明
31	混合照明 mixed lighting	指一般照明与局部照明组成的照明
32	正常照明 normal lighting	指正常情况下使用的室内外照明
33	应急照明 emergency lighting	指因正常照明的电源发生故障而启用的照明。曾称“事故照明”
34	备用照明 standby lighting	作为应急照明的一部分,用以确保正常活动继续进行



58B

电气工程手册

(续)

序号	名词术语	含义说明
35	安全照明 safety lighting	作为应急照明的一部分,用以确保处于潜在危险之中的人员安全
36	疏散照明 dispersed lighting	作为应急照明的一部分,用以确保安全出口通道能被有效地辨认和应用,使人们安全撤离建筑物
37	HID光源 high intensity gas discharge source	指高强度气体放电灯,是高压汞灯、高压钠灯和金属卤化物灯的总称。又称“高光强气体放电灯”
38	(照明光源的)利用系数 utilization coefficient (of lighting source)	<p>指照明光源投射到工作面上的光通量(含直射和各方反射到工作面上的光通量)与全部光源发出的光通量之比,即</p> $u \stackrel{\text{def}}{=} \Phi_e / n\Phi$ <p>式中, Φ_e 为投射到工作面上的光通量(有效光通); Φ 为每盏灯发出的光通量; n 为灯具数。利用系数与灯具型式、光效、悬挂高度、房间大小形状及墙壁、顶棚、地面的反射比等因素有关</p>
39	(灯具的)光强分布曲线 luminous intensity distribution curve (of a lighting fitting)	<p>指通过光源的对称平面上的发光强度与从对称轴线方向算起的角度之间的函数关系曲线,又称“配光曲线”。一般照明灯具的配光曲线是绘制在极坐标上的,如图所示,其光源采用光通量为1000lm的假想光源</p>  <p style="text-align: center;">GC1-A、B-1型配照灯的配光曲线</p>
40	等照度曲线 isolux curve	<p>指一个表面上具有相同照度值(lx值)的各个点的轨迹(曲线),又称“勒克斯曲线”。对具有旋转对称光分布的灯具,采用空间等照度曲线,如图a所示;对非旋转对称光分布的灯具,则采用与其相距1m的平面处的相对等照度曲线,如图b所示(图中h为灯悬挂高度,d为照度计算点至灯的水平距离)</p>   <p>a) GC5-A、B-4型深照灯(白炽灯300、500W)的空间等照度曲线</p> <p>b) YZ2-1型控制式荧光灯的平面相对等照度曲线</p>

(二) 照明技术有关概念

1. 光谱和可见光 如表 ZY10-2 所示。

表 ZY10-2 光谱和可见光

序号	项目	说明
1	光谱	光谱的大致范围: 波长 1mm~1nm ① 红外线: 波长 1mm~780nm ② 可见光: 波长 780nm~380nm ③ 紫外线: 波长 380nm~1nm
2	可见光	可见光可分七种单色光: ① 红——波长 780~640nm ② 橙——波长 640~600nm ③ 黄——波长 600~570nm ④ 绿——波长 570~490nm ⑤ 青——波长 490~450nm ⑥ 蓝——波长 450~430nm ⑦ 紫——波长 430~380nm
3	人眼最敏感的可见光辐射	正常人眼对波长为 555nm 的黄绿色光最敏感, 即这种黄绿色光的辐射能引起人眼的最大视觉。波长偏离 555nm 越远的光辐射, 可见度越小

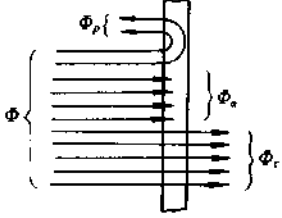
2. 光度量的名称、符号、定义和单位 如表 ZY10-3 所示。

表 ZY10-3 光度量的名称、符号、定义和单位

序号	名称	符号	定义和公式	SI 单位	备注
1	光通量	Φ	单位时间内辐射出的产生光感的能量: $\Phi \stackrel{\text{def}}{=} \frac{dQ}{dt}$	流明 (lm)	Q 为人眼能感知的辐射能, 单位为 lm·s (流明·秒)
2	发光强度 (光强)	I	单位立体角中辐射出的光通量: $I \stackrel{\text{def}}{=} \frac{d\Phi}{d\Omega}$	坎德拉 (cd)	Ω 为立体角, 单位为 sr (球面度)
3	照度	E	单位受照面积上投射的光通量: $E \stackrel{\text{def}}{=} \frac{d\Phi}{dA}$	勒克斯 (lx)	A 为受照表面面积, 单位为 m^2
4	亮度	L	发光体在给定方向上单位投影面积的光强: $L \stackrel{\text{def}}{=} \frac{dI}{dA \cos\alpha}$	坎/米 ² (cd/m ²)	曾有单位“尼特”(nt)、“熙提”(sb)等, 1nt=1cd/m ² , 1sb=10 ⁴ cd/m ² , 现 nt、sb 已废除

3. 物体的光照性能 如表 ZY10-4 所示。

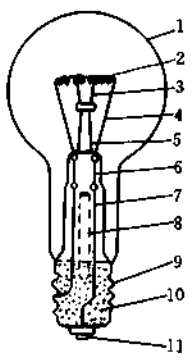
表 ZY10-4 物体的光照性能

序号	项目		说明	
1	光的反射 (reflection)、 吸收 (absorption) 和透射 (transmission)		<p>当光通量 Φ 投射到物体上时, 一部分光通量 Φ_r 从物体表面反射回去, 一部分光通量 Φ_a 被物体吸收, 而余下一部分光通量 Φ_t 则透过物体 (当这种物体材料为透明或半透明材料时)</p> 	
2	表征物体 (材料) 光照性能 的三个参数		<p>① 反射比 (反射因数): $\rho \stackrel{\text{def}}{=} \Phi_r / \Phi$</p> <p>② 吸收比 (吸收因数): $\alpha \stackrel{\text{def}}{=} \Phi_a / \Phi$</p> <p>③ 透射比 (透射因数): $\tau \stackrel{\text{def}}{=} \Phi_t / \Phi$</p> <p>三个参数之间的关系: $\rho + \alpha + \tau = 1$</p>	
3	部分材料的反射比和吸收比			
	类别	名称	反射比 ρ (%)	吸收比 α (%)
3.1	定向 反射 材料	银	92	8
		铬	65	35
		铝 (普通)	60~73	27~40
		铝 (电解抛光)	75~84 (光泽), 62~70 (无光)	16~25 (光泽), 30~38 (无光)
		镍	55	45
		玻璃镜	82~88	12~18
3.2	漫 反射 材料	硫酸钡	95	5
		氧化镁	97.5	2.5
		碳酸镁	94	6
		氧化亚铅	87	13
		石膏	87	13
		无光铝	62	38
		铝喷漆	35~40	60~65
3.3	建 筑 材 料	木材 (白木)	40~60	40~60
		白灰粉刷墙壁	75	25
		红砖墙	30	70
		灰砖墙	24	76
		混凝土	25	75
		白瓷砖	65~80	20~35
无色透明玻璃	接近 0	接近 0		
3.4	涂 料 及 其 它	白色搪瓷	4~5 (定向)、60~70 (漫反射)	25~35
		白色无光漆	84	16
		白色有光漆	4~5 (定向)、60~80 (漫反射)	15~40
		淡黄色油漆	4~5 (定向)、65~70 (漫反射)	25~35
		白色塑料	91	9

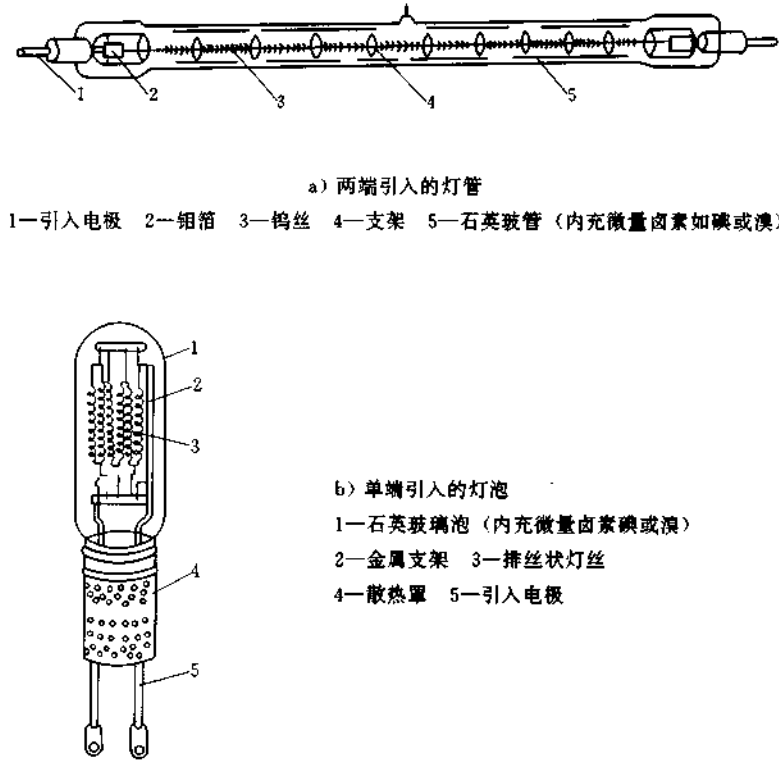
(三) 照明电光源和灯具

1. 常用的照明电光源 如表 ZY10-5 所示。其技术性能比较如表 ZY10-6 所示。

表 ZY10-5 常用的照明电光源

序号	类别	说 明				
1	热辐射光源					
1.1	白 炽 灯	结 构	 <p>1—玻璃壳 2—灯丝 (钨丝) 3—支架 (钨丝) 4—电极 (镍丝) 5—玻璃芯柱 6—杜美丝 (钢铁镍合金丝) 7—引入线 (铜丝) 8—抽气管 9—灯头 10—封端胶泥 11—锡焊接触端</p>			
		型 式	PZ——普通照明白炽灯 (单螺旋灯丝) PZS——普通照明双螺旋灯丝白炽灯 JZ——局部照明白炽灯 (单螺旋灯丝) JZS——局部照明双螺旋灯丝白炽灯 灯头型式 { B——插口式 E——螺口式			
		原理	利用灯丝通过电流时发热达到白炽状态而产生可见光。热损耗较大, 发光效率不高			
		主要 技术 数据	灯泡型号	额定电压/V	额定功率/W	额定光通量/lm	平均使用寿命/h
		220			1000	
		PZ220-15		15	110	
		PZ220-25		25	220	
		PZ220-40		40	350	
		PZ220-60		60	630	
		PZ220-100		100	1250	
		PZ220-150		150	2090	
		PZ220-200		200	2920	
		PZ220-300		300	4610	
		PZ220-500		500	8300	
		PZ220-1000		1000	18600	
		PZS220-36		36	350	
		PZS220-40		40	415	
		PZS220-55		55	630	
		PZS220-60		60	715	
		PZS220-94		94	1250	
		PZS220-100		100	1350	

(续)

序号	类别	说明																			
1.2	卤钨灯	<p>结构</p>  <p>a) 两端引入的灯管 1—引入电极 2—钨箔 3—钨丝 4—支架 5—石英玻璃管 (内充微量卤素如碘或溴)</p> <p>b) 单端引入的灯泡 1—石英玻璃泡 (内充微量卤素碘或溴) 2—金属支架 3—排丝状灯丝 4—散热罩 5—引入电极</p>																			
		<p>「卤钨循环」原理</p> <p>卤钨灯 (含碘钨灯) 利用“卤钨循环”(碘钨循环) 原理来提高其发光效率和使用寿命</p> <p>当卤钨灯工作时, 灯丝温度很高, 蒸发出钨分子, 使之移向玻壳 (玻璃管或玻璃泡) 内壁。钨分子在壳壁与卤素 (如碘或溴) 相作用, 生成气态的卤化钨, 卤化钨就由壳壁向灯丝迁移。当卤化钨进入灯丝的高温 (1600℃ 以上) 区域后, 就分解为钨分子和卤素, 钨分子就沉积在灯丝上。当钨分子沉积的数量恰等于灯丝蒸发出的钨分子数量时, 就形成平衡状态。这一过程就是“卤钨循环”</p> <p>由于钨不会完全沉积在玻壳上使玻壳发黑, 因此其发光效率较之白炽灯高。又由于卤钨灯的灯丝因“卤钨循环”关系消耗较少, 因此其使用寿命较之白炽灯长。但管形卤钨灯需水平安装, 倾斜角不得大于 4°, 否则将严重影响灯的使用寿命</p>																			
	主要技术数据	<table border="1"> <thead> <tr> <th>灯管型号</th> <th>额定电压/V</th> <th>额定功率/W</th> <th>额定光通量/lm</th> <th>平均使用寿命/h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LZG220-500</td> <td rowspan="4">220</td> <td>500</td> <td>9750</td> <td rowspan="4">1500</td> </tr> <tr> <td>LZG220-1000</td> <td>1000</td> <td>21000</td> </tr> <tr> <td>LZG220-1500</td> <td>1500</td> <td>31500</td> </tr> <tr> <td>LZG220-2000</td> <td>2000</td> <td>42000</td> </tr> </tbody> </table>	灯管型号	额定电压/V	额定功率/W	额定光通量/lm	平均使用寿命/h	LZG220-500	220	500	9750	1500	LZG220-1000	1000	21000	LZG220-1500	1500	31500	LZG220-2000	2000	42000
灯管型号	额定电压/V	额定功率/W	额定光通量/lm	平均使用寿命/h																	
LZG220-500	220	500	9750	1500																	
LZG220-1000		1000	21000																		
LZG220-1500		1500	31500																		
LZG220-2000		2000	42000																		

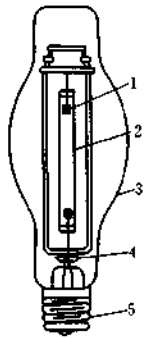
(续)

序号	类别	说明
2	气体放电光源	
2.1	荧光灯	<p data-bbox="352 483 384 629">结构 (直管形)</p> <div data-bbox="580 465 1187 663" style="text-align: center;"> <p>1—灯头 2—灯脚 3—芯柱 4—灯丝 5—玻管 (内充惰性气体, 内壁涂荧光粉) 6—汞 (少量)</p> </div> <p data-bbox="352 846 384 1081">常用 荧光 灯电 路</p> <p data-bbox="411 674 890 835">S 为起辉器, 有两个电极, 其中一个弯成 U 形的电极是双金属片。当荧光灯接上电压后, 起辉器首先产生辉光放电, 致使双金属片加热伸开, 造成两极短接, 从而使电流通过灯丝。灯丝加热后发射电子, 并使灯管中少量汞气化</p> <p data-bbox="411 846 890 1115">L 为镇流器, 实质上是铁心电感线圈。当起辉器两极短接使灯丝加热后, 由于起辉器放电停止, 双金属片冷却收缩, 从而突然断开灯丝加热回路, 使镇流器两端感生很高的电动势, 连同电源电压加于灯管两端, 使充满汞蒸气的灯管击穿, 产生弧光放电。由于灯管起燃后, 管内电压降很小, 因此又要借助镇流器来消耗很大一部分电压, 以维持灯管稳定的电流, 不致因电流过大而烧毁灯管</p> <div data-bbox="938 808 1305 1021" style="text-align: center;"> </div> <p data-bbox="411 1126 1329 1182">C 为电容器, 用来提高电路的功率因数。不接 C 时, $\cos\varphi$ 只 0.5 左右; 接上 C 后, $\cos\varphi$ 可提高到 0.95 以上</p> <p data-bbox="411 1193 1329 1256">有的起辉器还并联有电容器 (0.006~0.02μF), 其功用在于启动时增加感应的高电动势, 同时工作时降低射频干扰</p>
	镇流器带附加绕组的 荧光 灯电 路	<p data-bbox="411 1384 906 1485">此镇流器 L 带有附加绕组, 电感一般为主绕组的 5%~8%。启动时它反向串入起辉器电路, 可加大启动电流, 当电源电压偏低时使灯管易于点燃</p> <div data-bbox="938 1346 1313 1525" style="text-align: center;"> </div>
	采用 电子 镇流 器的 荧光 灯电 路	<p data-bbox="411 1615 946 1742">电子镇流器与一般铁心线圈镇流器相比, 有下列优点: ① 在电源电压较低 (但不低于 130V)、环境温度也较低 (-10℃ 左右) 的情况下均能快速起燃, 而不用起辉器, 灯管无闪烁, 镇流器无噪声</p> <p data-bbox="411 1753 946 1816">② 节约电能, 因电子镇流器本身损耗很小, 加上灯管工作条件改善, 故发光效率提高</p> <p data-bbox="411 1827 946 1890">③ 功率因数大大提高, 采用铁心线圈镇流器时 $\cos\varphi$ 只 0.5 左右, 而采用电子镇流器时 $\cos\varphi$ 可达 0.9 以上</p> <p data-bbox="411 1901 703 1921">④ 体积小, 重量轻, 安装方便</p> <div data-bbox="962 1704 1313 1861" style="text-align: center;"> </div>

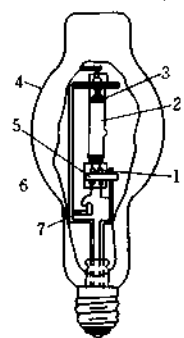
(续)

序号	类别	说 明																																																																																																																																																			
2.1	灯	型式	YZ——直管形荧光灯 YU——U形荧光灯 YH——环形荧光灯 YDN——紧凑型H形和2D形荧光灯： YDN□H为H形，□为瓦数 YDN□F为2D形，□为瓦数																																																																																																																																																		
		工作原理	荧光灯实际上是一种低气压汞灯，利用汞蒸气在外加电压作用下产生弧光放电，发出少量可见光和大量紫外线。紫外线又激动灯管内壁涂覆的荧光粉，使之再辐射出大量的可见光。由此可见，荧光灯的发光效率比白炽灯高得多，其使用寿命也比白炽灯长得多																																																																																																																																																		
		<table border="1"> <tr> <td>灯光颜色代号</td> <td>RR——日光色</td> </tr> <tr> <td></td> <td>RL——冷白色</td> </tr> <tr> <td></td> <td>RN——暖白色</td> </tr> </table>	灯光颜色代号	RR——日光色		RL——冷白色		RN——暖白色																																																																																																																																													
灯光颜色代号	RR——日光色																																																																																																																																																				
	RL——冷白色																																																																																																																																																				
	RN——暖白色																																																																																																																																																				
		主要技术数据	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">型 号</th> <th rowspan="2">额定电压 /V</th> <th rowspan="2">额定功率 /W</th> <th rowspan="2">灯管工作电压 /V</th> <th colspan="2">灯管电流/A</th> <th rowspan="2">额定光通量 /lm</th> <th rowspan="2">平均使用寿命 /h</th> </tr> <tr> <th>工作</th> <th>预热</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>YZ6RR</td> <td rowspan="3">220</td> <td rowspan="3">6</td> <td rowspan="3">50</td> <td rowspan="3">0.14</td> <td rowspan="3"></td> <td>160</td> <td rowspan="3">1500</td> </tr> <tr> <td>YZ6RL</td> <td>175</td> </tr> <tr> <td>YZ6RN</td> <td>180</td> </tr> <tr> <td>YZ8RR</td> <td rowspan="3">220</td> <td rowspan="3">8</td> <td rowspan="3">60</td> <td rowspan="3">0.15</td> <td rowspan="3"></td> <td>250</td> <td rowspan="3">1500</td> </tr> <tr> <td>YZ8RL</td> <td>280</td> </tr> <tr> <td>YZ8RN</td> <td>285</td> </tr> <tr> <td>YZ15RR</td> <td rowspan="3">220</td> <td rowspan="3">15</td> <td rowspan="3">51</td> <td rowspan="3">0.33</td> <td rowspan="3"></td> <td>450</td> <td rowspan="3">3000</td> </tr> <tr> <td>YZ15RL</td> <td>490</td> </tr> <tr> <td>YZ15RN</td> <td>510</td> </tr> <tr> <td>YZ20RR</td> <td rowspan="3">220</td> <td rowspan="3">20</td> <td rowspan="3">57</td> <td rowspan="3">0.37</td> <td rowspan="3"></td> <td>775</td> <td rowspan="3">3000</td> </tr> <tr> <td>YZ20RL</td> <td>835</td> </tr> <tr> <td>YZ20RN</td> <td>880</td> </tr> <tr> <td>YZ30RR</td> <td rowspan="3">220</td> <td rowspan="3">30</td> <td rowspan="3">81</td> <td rowspan="3">0.41</td> <td rowspan="3"></td> <td>1295</td> <td rowspan="3">5000</td> </tr> <tr> <td>YZ30RL</td> <td>1415</td> </tr> <tr> <td>YZ30RN</td> <td>1465</td> </tr> <tr> <td>YZ40RR</td> <td rowspan="3">220</td> <td rowspan="3">40</td> <td rowspan="3">103</td> <td rowspan="3">0.43</td> <td rowspan="3"></td> <td>2000</td> <td rowspan="3">5000</td> </tr> <tr> <td>YZ40RL</td> <td>2200</td> </tr> <tr> <td>YZ40RN</td> <td>2285</td> </tr> <tr> <td>YH20RR</td> <td rowspan="3">220</td> <td>20</td> <td>57</td> <td>0.37</td> <td></td> <td>800</td> <td>2000</td> </tr> <tr> <td>YH30RR</td> <td>30</td> <td>81</td> <td>0.41</td> <td></td> <td>1400</td> <td>2000</td> </tr> <tr> <td>YH40RR</td> <td>40</td> <td>103</td> <td>0.43</td> <td></td> <td>2300</td> <td>2000</td> </tr> <tr> <td>YDN5H</td> <td>220</td> <td>5</td> <td>33</td> <td>0.18</td> <td>0.19</td> <td>220</td> <td rowspan="5">3000</td> </tr> <tr> <td>YDN7H</td> <td rowspan="3">110 220</td> <td>7</td> <td>45</td> <td>0.18</td> <td>0.19</td> <td>400</td> </tr> <tr> <td>YDN9H</td> <td>9</td> <td>60</td> <td>0.17</td> <td>0.19</td> <td>600</td> </tr> <tr> <td>YDN11H</td> <td>11</td> <td>90</td> <td>0.185</td> <td>0.19</td> <td>900</td> </tr> <tr> <td>YDN13H</td> <td>220</td> <td>13</td> <td>60</td> <td>0.3</td> <td>0.52</td> <td>780</td> </tr> <tr> <td>YDN16F</td> <td>220</td> <td>16</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>950</td> <td>3000</td> </tr> </tbody> </table>	型 号	额定电压 /V	额定功率 /W	灯管工作电压 /V	灯管电流/A		额定光通量 /lm	平均使用寿命 /h	工作	预热	YZ6RR	220	6	50	0.14		160	1500	YZ6RL	175	YZ6RN	180	YZ8RR	220	8	60	0.15		250	1500	YZ8RL	280	YZ8RN	285	YZ15RR	220	15	51	0.33		450	3000	YZ15RL	490	YZ15RN	510	YZ20RR	220	20	57	0.37		775	3000	YZ20RL	835	YZ20RN	880	YZ30RR	220	30	81	0.41		1295	5000	YZ30RL	1415	YZ30RN	1465	YZ40RR	220	40	103	0.43		2000	5000	YZ40RL	2200	YZ40RN	2285	YH20RR	220	20	57	0.37		800	2000	YH30RR	30	81	0.41		1400	2000	YH40RR	40	103	0.43		2300	2000	YDN5H	220	5	33	0.18	0.19	220	3000	YDN7H	110 220	7	45	0.18	0.19	400	YDN9H	9	60	0.17	0.19	600	YDN11H	11	90	0.185	0.19	900	YDN13H	220	13	60	0.3	0.52	780	YDN16F	220	16				950	3000
型 号	额定电压 /V	额定功率 /W	灯管工作电压 /V					灯管电流/A				额定光通量 /lm	平均使用寿命 /h																																																																																																																																								
				工作	预热																																																																																																																																																
YZ6RR	220	6	50	0.14		160	1500																																																																																																																																														
YZ6RL						175																																																																																																																																															
YZ6RN						180																																																																																																																																															
YZ8RR	220	8	60	0.15		250	1500																																																																																																																																														
YZ8RL						280																																																																																																																																															
YZ8RN						285																																																																																																																																															
YZ15RR	220	15	51	0.33		450	3000																																																																																																																																														
YZ15RL						490																																																																																																																																															
YZ15RN						510																																																																																																																																															
YZ20RR	220	20	57	0.37		775	3000																																																																																																																																														
YZ20RL						835																																																																																																																																															
YZ20RN						880																																																																																																																																															
YZ30RR	220	30	81	0.41		1295	5000																																																																																																																																														
YZ30RL						1415																																																																																																																																															
YZ30RN						1465																																																																																																																																															
YZ40RR	220	40	103	0.43		2000	5000																																																																																																																																														
YZ40RL						2200																																																																																																																																															
YZ40RN						2285																																																																																																																																															
YH20RR	220	20	57	0.37		800	2000																																																																																																																																														
YH30RR		30	81	0.41		1400	2000																																																																																																																																														
YH40RR		40	103	0.43		2300	2000																																																																																																																																														
YDN5H	220	5	33	0.18	0.19	220	3000																																																																																																																																														
YDN7H	110 220	7	45	0.18	0.19	400																																																																																																																																															
YDN9H		9	60	0.17	0.19	600																																																																																																																																															
YDN11H		11	90	0.185	0.19	900																																																																																																																																															
YDN13H	220	13	60	0.3	0.52	780																																																																																																																																															
YDN16F	220	16				950	3000																																																																																																																																														

(续)

序号	类别	说明																																																																																																														
2.3	结构	 <p>1—主电极 2—半透明陶瓷放电管 (内充钠、汞及氙或氦氩混合气体) 3—外玻壳 (内壁涂荧光粉, 内外两层间充氮) 4—消气剂 5—灯头 其结线与高压汞灯相同</p>																																																																																																														
	型式	<p>NG——普通型高压钠灯 NGX——显色改进型高压钠灯 NGG——高显色型高压钠灯 (注) 型号后面加“/M”者为漫射椭球形; 型号后面未加“/M”者为直筒形</p>																																																																																																														
	原理	<p>高压钠灯利用高气压(压强可达10^4Pa)的钠蒸气放电发光,其辐射光谱集中在人眼较为敏感的区域,因此其光效比高压汞灯还高出一倍左右,且寿命长,但普通高压钠灯的显色性较高压汞灯还差</p>																																																																																																														
	主要技术数据	<table border="1"> <thead> <tr> <th>型号</th> <th>额定电压 V</th> <th>额定功率 W</th> <th>额定光通量 lm</th> <th>启动稳定时间 min</th> <th>再启动时间 min</th> <th>平均使用寿命 h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>NG-35</td><td rowspan="20">220</td><td>35</td><td>2250</td><td rowspan="19">5~6</td><td rowspan="19">≥1</td><td>16000</td></tr> <tr><td>NG-35/M</td><td>35</td><td>2150</td><td>16000</td></tr> <tr><td>NG-50</td><td>50</td><td>4000</td><td>16000</td></tr> <tr><td>NG-50/M</td><td>50</td><td>3500</td><td>16000</td></tr> <tr><td>NG-70</td><td>70</td><td>6000</td><td>18000</td></tr> <tr><td>NG-70/M</td><td>70</td><td>5600</td><td>18000</td></tr> <tr><td>NG-100</td><td>100</td><td>9000</td><td>18000</td></tr> <tr><td>NG-100/M</td><td>100</td><td>8500</td><td>18000</td></tr> <tr><td>NG-150</td><td>150</td><td>16000</td><td>24000</td></tr> <tr><td>NG-150/M</td><td>150</td><td>14500</td><td>24000</td></tr> <tr><td>NG-250</td><td>250</td><td>28000</td><td>24000</td></tr> <tr><td>NG-250/M</td><td>250</td><td>25000</td><td>24000</td></tr> <tr><td>NG-400</td><td>400</td><td>48000</td><td>24000</td></tr> <tr><td>NG-400/M</td><td>400</td><td>46000</td><td>24000</td></tr> <tr><td>NG-1000</td><td>1000</td><td>130000</td><td>24000</td></tr> <tr><td>NG-1000/M</td><td>1000</td><td>120000</td><td>24000</td></tr> <tr><td>NGX-150</td><td>150</td><td>13000</td><td>12000</td></tr> <tr><td>NGX-150/M</td><td>150</td><td>12000</td><td>12000</td></tr> <tr><td>NGX-250</td><td>250</td><td>22500</td><td>12000</td></tr> <tr><td>NGX-250/M</td><td>250</td><td>21500</td><td>12000</td></tr> <tr><td>NGX-400</td><td>400</td><td>38000</td><td>12000</td></tr> <tr><td>NGX-400/M</td><td>400</td><td>36000</td><td>12000</td></tr> <tr><td>NGG-250</td><td>250</td><td>21500</td><td>5</td><td></td><td>12000</td></tr> <tr><td>NGG-400</td><td>400</td><td>36000</td><td>5</td><td></td><td>12000</td></tr> </tbody> </table>	型号	额定电压 V	额定功率 W	额定光通量 lm	启动稳定时间 min	再启动时间 min	平均使用寿命 h	NG-35	220	35	2250	5~6	≥1	16000	NG-35/M	35	2150	16000	NG-50	50	4000	16000	NG-50/M	50	3500	16000	NG-70	70	6000	18000	NG-70/M	70	5600	18000	NG-100	100	9000	18000	NG-100/M	100	8500	18000	NG-150	150	16000	24000	NG-150/M	150	14500	24000	NG-250	250	28000	24000	NG-250/M	250	25000	24000	NG-400	400	48000	24000	NG-400/M	400	46000	24000	NG-1000	1000	130000	24000	NG-1000/M	1000	120000	24000	NGX-150	150	13000	12000	NGX-150/M	150	12000	12000	NGX-250	250	22500	12000	NGX-250/M	250	21500	12000	NGX-400	400	38000	12000	NGX-400/M	400	36000	12000	NGG-250	250	21500	5		12000	NGG-400	400	36000	5		12000
型号	额定电压 V	额定功率 W	额定光通量 lm	启动稳定时间 min	再启动时间 min	平均使用寿命 h																																																																																																										
NG-35	220	35	2250	5~6	≥1	16000																																																																																																										
NG-35/M		35	2150			16000																																																																																																										
NG-50		50	4000			16000																																																																																																										
NG-50/M		50	3500			16000																																																																																																										
NG-70		70	6000			18000																																																																																																										
NG-70/M		70	5600			18000																																																																																																										
NG-100		100	9000			18000																																																																																																										
NG-100/M		100	8500			18000																																																																																																										
NG-150		150	16000			24000																																																																																																										
NG-150/M		150	14500			24000																																																																																																										
NG-250		250	28000			24000																																																																																																										
NG-250/M		250	25000			24000																																																																																																										
NG-400		400	48000			24000																																																																																																										
NG-400/M		400	46000			24000																																																																																																										
NG-1000		1000	130000			24000																																																																																																										
NG-1000/M		1000	120000			24000																																																																																																										
NGX-150		150	13000			12000																																																																																																										
NGX-150/M		150	12000			12000																																																																																																										
NGX-250		250	22500			12000																																																																																																										
NGX-250/M		250	21500	12000																																																																																																												
NGX-400	400	38000	12000																																																																																																													
NGX-400/M	400	36000	12000																																																																																																													
NGG-250	250	21500	5		12000																																																																																																											
NGG-400	400	36000	5		12000																																																																																																											

(续)

序号	类别	说明																																																																																											
2.4	金属卤化物灯	<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>1—主电极 2—放电管 (内充汞和稀有气体及金属卤化物) 3—保温罩 4—石英玻壳 (内涂荧光粉) 5—消气剂 6—启动电极 7—限流电阻</p> </div> </div>																																																																																											
		<p>NTI——钠铊铟灯 DDG——日光色镝灯 KNG——钪钠灯 (KNG-250、400 为椭球形, KNG-1000、2000 为管形)</p>																																																																																											
	原理	金属卤化物灯的主要辐射, 来自其中铟、铊、铊、钠等金属的卤化物在高温下分解后产生的金属蒸气和汞蒸气混合物的激发。其产生的大量紫外线又激发玻壳内壁的荧光粉而产生大量可见光																																																																																											
	主要技术数据	<table border="1"> <thead> <tr> <th>型号</th> <th>额定电压 V</th> <th>额定功率 W</th> <th>额定光通量 lm</th> <th>启动稳定时间 min</th> <th>再启动时间 min</th> <th>平均使用寿命 h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NTI-400</td> <td rowspan="2">220</td> <td>400</td> <td>24000</td> <td rowspan="4">10</td> <td rowspan="4">8~10</td> <td rowspan="4">1000</td> </tr> <tr> <td>NTI-1000</td> <td>1000</td> <td>75000</td> </tr> <tr> <td>NTI-2000</td> <td rowspan="2">380</td> <td>2000</td> <td>140000</td> </tr> <tr> <td>NTI-3500</td> <td>3500</td> <td>240000</td> </tr> <tr> <td>DDG-125</td> <td rowspan="10">220</td> <td>125</td> <td>6500</td> <td rowspan="10">5~10</td> <td rowspan="10">10~15</td> <td rowspan="5">1500</td> </tr> <tr> <td>DDG-250/V</td> <td>250</td> <td>16000</td> </tr> <tr> <td>DDG-250/H, HB</td> <td>250</td> <td>13500</td> </tr> <tr> <td>DDG-250</td> <td>250</td> <td>18000</td> </tr> <tr> <td>DDG-400</td> <td>400</td> <td>35000</td> </tr> <tr> <td>DDG-400/V</td> <td>400</td> <td>28000</td> <td rowspan="2">2000</td> </tr> <tr> <td>DDG-400/H, HB</td> <td>400</td> <td>24000</td> </tr> <tr> <td>DDG-1000</td> <td>1000</td> <td>70000</td> <td rowspan="2">500</td> </tr> <tr> <td>DDG-1000/HB</td> <td>1000</td> <td>70000</td> </tr> <tr> <td>DDG-2000</td> <td rowspan="4">380</td> <td>2000</td> <td>15000</td> <td rowspan="4"></td> <td rowspan="4"></td> <td rowspan="4">500</td> </tr> <tr> <td>DDG-2000/HB</td> <td>2000</td> <td>150000</td> </tr> <tr> <td>DDG-3500</td> <td>3500</td> <td>280000</td> </tr> <tr> <td>DDG-3500/HB</td> <td>3500</td> <td>280000</td> </tr> <tr> <td>KNG-250</td> <td rowspan="4">220</td> <td>250</td> <td>15000</td> <td rowspan="4"></td> <td rowspan="4"></td> <td rowspan="2">15000</td> </tr> <tr> <td>KNG-400</td> <td>400</td> <td>28000</td> </tr> <tr> <td>KNG-1000</td> <td>1000</td> <td>70000</td> <td rowspan="2">10000</td> </tr> <tr> <td>KNG-2000</td> <td>380</td> <td>2000</td> <td>150000</td> </tr> </tbody> </table>	型号	额定电压 V	额定功率 W	额定光通量 lm	启动稳定时间 min	再启动时间 min	平均使用寿命 h	NTI-400	220	400	24000	10	8~10	1000	NTI-1000	1000	75000	NTI-2000	380	2000	140000	NTI-3500	3500	240000	DDG-125	220	125	6500	5~10	10~15	1500	DDG-250/V	250	16000	DDG-250/H, HB	250	13500	DDG-250	250	18000	DDG-400	400	35000	DDG-400/V	400	28000	2000	DDG-400/H, HB	400	24000	DDG-1000	1000	70000	500	DDG-1000/HB	1000	70000	DDG-2000	380	2000	15000			500	DDG-2000/HB	2000	150000	DDG-3500	3500	280000	DDG-3500/HB	3500	280000	KNG-250	220	250	15000			15000	KNG-400	400	28000	KNG-1000	1000	70000	10000	KNG-2000	380	2000	150000
型号	额定电压 V	额定功率 W	额定光通量 lm	启动稳定时间 min	再启动时间 min	平均使用寿命 h																																																																																							
NTI-400	220	400	24000	10	8~10	1000																																																																																							
NTI-1000		1000	75000																																																																																										
NTI-2000	380	2000	140000																																																																																										
NTI-3500		3500	240000																																																																																										
DDG-125	220	125	6500	5~10	10~15	1500																																																																																							
DDG-250/V		250	16000																																																																																										
DDG-250/H, HB		250	13500																																																																																										
DDG-250		250	18000																																																																																										
DDG-400		400	35000																																																																																										
DDG-400/V		400	28000			2000																																																																																							
DDG-400/H, HB		400	24000																																																																																										
DDG-1000		1000	70000			500																																																																																							
DDG-1000/HB		1000	70000																																																																																										
DDG-2000		380	2000			15000			500																																																																																				
DDG-2000/HB	2000		150000																																																																																										
DDG-3500	3500		280000																																																																																										
DDG-3500/HB	3500		280000																																																																																										
KNG-250	220	250	15000			15000																																																																																							
KNG-400		400	28000																																																																																										
KNG-1000		1000	70000			10000																																																																																							
KNG-2000		380	2000				150000																																																																																						

(续)

序号	类别	说明							
2.5	氙灯	结构类型及性能	氙灯又名“小太阳”。灯壳用石英玻璃制成，两端装有电极，内充氙气。通电后，氙气放电发光，其光谱与太阳光相近。氙灯按发光电弧长度分长弧氙灯和短弧氙灯两种。长弧氙灯有光效高、寿命长、光色好等优点，主要用于广场照明、人工老化设备等。短弧氙灯亮度强而集中，用于各种光学仪器和电影放映 氙灯按外形分，有管形和球形。按冷却方式分，有自冷式、水冷式和风冷式						
		直管形长弧氙灯技术数据	型号	额定电压 V	额定功率 W	工作电流 A	启动电流 A	额定光通量 lm	平均使用寿命 h
	SZ-1500	220	1500	20	22	30000	1000		
	SZ-3000		3000	13~18	39	72000			
	SZ-6000		6000	24.5~30	39	144000			
	SZ-8000		8000		65	200000			
	SZ-10000		10000	41~50	65	270000			
	SZ-20000	380	20000	84~100	65	580000			
	SZ-20000		20000	47.5~58	75	580000			
SZ-50000	50000		118~145	189	1550000				

表 ZY10-6 常用电光源技术性能比较

序号	性能参数	白炽灯	卤钨灯	荧光灯	高压汞灯	高压钠灯	金属卤化物灯	氙灯
1	额定功率/W	15~1000	500~2000	6~125	50~1000	35~1000	125~3500	1500~100000
2	发光效率/(lm·W ⁻¹)	10~15	20~25	40~90	30~50	90~120	60~90	20~40
3	平均使用寿命/h	1000	1500	1500~5000	2500~6000	12000~24000	500~15000	1000
4	一般显色指数 R _a (%)	97~99	95~99	75~90	30~50	20~25	65~90	95~97
5	启动稳定时间/min	瞬时	瞬时	1/60~4/60	4~8	5~6	5~10	瞬时
6	再启动时间/min	瞬时	瞬时	1/60~4/60	5~10	≥1	10~15	瞬时
7	功率因数	1.0	1.0	0.33~0.7	0.44~0.67	0.44	0.4~0.6	0.4~0.9
8	频闪效应	无	无	有	有	有	有	有
9	表面亮度	大	大	小	较大	较大	大	大
10	电压变化对光通量的影响	大	大	较大	较大	大	较大	较大
11	环境温度对光通量的影响	小	小	大	较小	较小	较小	小
12	耐振性能	较差	差	较好	好	较好	好	好
13	所需附件	无	无	镇流器 起辉器	镇流器	镇流器	镇流器 触发器	镇流器 触发器

2. 常用照明灯具的型号表示和含义 按 GB6859—86《灯具型号命名方法》规定, 如表 ZY10-7 所示。

表 ZY10-7 常用照明灯具的型号表示和含义 (据 GB 6859—86)

序号	项 目	说 明					
1	型号组成格式	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">□ 灯具类 型代号</div> <div style="text-align: center;">□ 灯种 代号</div> <div style="text-align: center;">□ - □ 序号及 变型代号</div> <div style="text-align: center;">□ × □ 光源 功率</div> <div style="text-align: center;">□ 光源个数 (1个不标)</div> </div>					
2	灯具类型 代号	M	民用建筑灯具	G	工厂灯具	Z	公共场所灯具
		C	船用灯具	S	水面水下灯具	H	航空灯具
		L	陆上交通灯具	B	防爆灯具	Y	医疗灯具
		X	摄影灯具	W	舞台灯具	N	农用灯具
		J	军用灯具				
3	民用建筑 灯具的灯种 代号	B	壁灯	C	床头灯	D	吊灯
		L	落地灯	M	门灯	Q	嵌入式顶灯
		T	台灯	X	吸顶灯		
4	工矿灯具 的灯种代号	B	标志灯	C	厂房照明灯	G	工作台灯
		H	行灯	J	机床灯	T	投光灯
		Y	应急灯				
5	公共场所 灯具的灯种 代号	B	标志灯	D	道路照明灯	G	广场灯
		S	射灯	T	庭院灯	Y	通用照明灯
		W	未列入类				
6	光源代号	—	白炽灯 (不标)	Y	荧光灯	L	卤钨灯
		G	汞灯	N	钠灯	J	金属卤化物灯
		X	氙灯	H	混光光源		

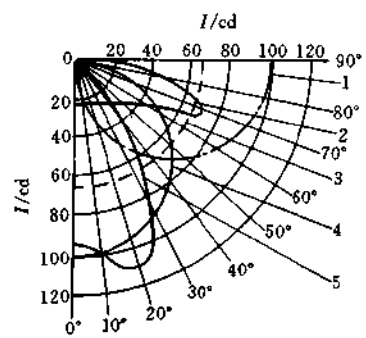
3. 常用照明灯具按配光特性的分类 如表 ZY10-8 所示。

表 ZY10-8 常用照明灯具按配光特性的分类

序号	类 别	说 明
1	CIE 分类法——按向下和向上投射光通量的百分比分类	
1.1	直接照明型	灯具向下投射的光通量占总光通量的 90%~100%，而向上投射的光通量极少。此类灯具简称“直接型灯具”
1.2	半直接照明型	灯具向下投射的光通量占总光通量的 60%~90%，向上投射的光通量只有 10%~40%
1.3	均匀漫射型	灯具向下投射的光通量与向上投射的光通量差不多相等，各为 40%~60%之间
1.4	半间接照明型	灯具向上投射的光通量占总光通量的 60%~90%，向下投射的光通量只有 10%~40%
1.5	间接照明型	灯具向上投射的光通量占总光通量的 90%~100%，而向下投射的光通量极少
2	传统分类法——按灯具的配光曲线形状分类	

(续)

序号	类别	说明
2.1	正弦分布型	光强是角度的正弦函数, 并且在 $\theta=90^\circ$ 时光强最大 (曲线 1)
2.2	广照型	最大光强分布在较大角度上, 可在较广的面积上形成均匀的照度 (曲线 2)
2.3	漫射型	各个角度的光强基本一致 (曲线 3)
2.4	配照型	光强是角度的余弦函数, 并且在 $\theta=0^\circ$ 时光强最大 (曲线 4)
2.5	深照型	光通量和最大光强值集中在 $0^\circ\sim 30^\circ$ 的狭小立体角内 (曲线 5)



4. 常用照明灯具按结构特点的分类 如表 ZY10-9 所示。

表 ZY10-9 常用照明灯具按结构特点的分类

序号	类别	说明
1	开启型	其光源与外界空间相通, 如一般的配照型灯、广照型灯、深照型灯等
2	闭合型	其光源被透明罩包含, 但内外空气仍能流通, 如球形灯、双罩型灯及吸顶灯等
3	密闭型	其光源被透明罩密封, 内外空气不能对流, 如防潮灯、防水防尘灯等
4	防爆型	其光源被高强度透明罩密封, 且灯具能承受足够的压力, 能安全地使用在有爆炸危险介质的场所
5	隔爆型	其光源被高强度透明罩封闭, 但不是靠其密封性来防爆, 而是在灯座的法兰与灯罩的法兰之间有一隔爆间隙。当气体在灯罩内部爆炸时, 高温气体经过隔爆间隙被充分冷却, 从而不致引起外部爆炸性混合气体爆炸, 因此隔爆型灯也能安全地使用在有爆炸危险介质的场所

5. 部分常用灯具的主要技术数据 如表 ZY10-10 所示。

表 ZY10-10 部分常用灯具的主要技术数据

序号	灯具类型名称	光源功率 W	遮光角	灯具效率 (%)	光通量比 (%)		最大允许 距高比
					上射	下射	
1	GC1-A、B-1 型配照灯	PZ220-60、100	24°	62	0	62	1.38
2	GC1-A、B-1 型配照灯	PZ220-150	8.7°	85	0	85	1.25
3	GC1-A、B-1 型配照灯	GGY-125	0°	72	0	72	1.41
4	GC1-A、B-2 型配照灯	PZ220-150、200	11.7°	68	0	68	0.88
5	GC1-A、B-2 型配照灯	GGY-125	0°	66	0	66	1.35
6	GC3-A、B-1 型广照灯	PZ220-60、100	5.7°、8.3°	81	0	81	0.9
7	GC3-A、B-2 型广照灯	PZ220-150、200	0°	91	5	86	1.02
8	GC3-A、B-2 型广照灯	GGY-125	0°	76	6	70	0.98
9	GC5-A、B-2 型深照灯	PZ220-150、200	32.7°	63	0	63	1.37
10	GC5-A、B-2 型深照灯	GGY-125	16.7°	54	0	54	1.5
11	GC5-A、B-4 型深照灯	PZ220-300、500	18.6°、15.8°	67	0	67	1.4

(续)

序号	灯具类型名称	光源功率 W	遮光角	灯具效率 (%)	光通量比 (%)		最大允许 距高比
					上射	下射	
12	GC5-A、B-4 型深照灯	GGY-400	0°	65	0	65	1.23
13	GC33 型防潮灯	PZ220-100	0°	82	31	51	1.67
14	GB3C-125 型防爆灯	GGY-125	0°	49	1	48	1.71
15	DH-30 型乳白玻璃圆球吊灯	PZ220-100	0°	88	35	53	1.4
16	JDD11 型扁罩吊灯	PZ220-100	0°	82	39	43	1.28
17	JDD12 型棱形罩吊灯	PZ220-100	0°	85	44	41	1.33
18	TP-2 型半圆天棚灯	PZ220-60、100	0°	40	7	33	1.54
19	TP-1 型扁圆天棚灯	PZ220-60、100	0°	63	14	49	1.3
20	LTP-1000-1 型搪瓷配照卤钨灯	LZG-1000	26.4°	71.7	0	71.7	1.3 _⊥ 1.2 _∥
21	LTS-1000-1 型搪瓷深照卤钨灯	LZG-1000	54.6°	55.1	0	55.1	1.0 _⊥ 1.06 _∥
22	YG1-1 型筒式荧光灯	YZ-40	0°	80	21	59	1.62 _⊥ 1.22 _∥
23	YG2-1 型筒式荧光灯	YZ-40	4.6°	88	0	88	1.6 _⊥ 1.28 _∥
24	YG2-2 型筒式荧光灯	2×YZ-40	1.25°	97	0	97	1.33 _⊥ 1.28 _∥
25	YG4-1 型密封型荧光灯	YZ-40	5°	84	0	84	1.52 _⊥ 1.27 _∥
26	YG4-2 型密封型荧光灯	2×YZ-40	0°	80	0	80	1.41 _⊥ 1.26 _∥
27	B3E-2-60 型隔爆型荧光防爆灯	2×YZ-30	0°	59	10	49	1.28 _⊥ 2.6 _∥
28	YB3E-40KS 型隔爆型快速启动 荧光防爆灯	YZ-40	0°	53.3	10	53.3	1.3 _⊥ 1.2 _∥
29	FI701-3 型嵌入式格栅荧光灯	3×YZ-40	32.5°	46	0	46	1.12 _⊥ 1.05 _∥
30	CXGC202-GN360 型混光灯具	GGY-250+NG-110	12°	75	2	73	2.4 _⊥ 2.3 _∥
31	CXGC202-GN650 型混光灯具	GGY-400+NG-250	10°	72	1	71	1.64 _⊥ 1.52 _∥
32	CXGC204-GN650 型混光灯具	GGY-400+NG-250	30°	76.9	0	76.9	1.65 _⊥ 1.37 _∥

注：“距高比”栏内符号“⊥”指与灯具轴线的垂直方向，“∥”指与灯具轴线的平行方向。

(四) 工业企业照明的照度标准

1. 工作场所作业面上的照度标准值 如表 ZY10-11 所示。

表 ZY10-11 工作场所作业面上的照度标准值 (据 GB 50034—92)

序号	视觉作业特性	识别对象的最小尺寸 d/mm	视觉作业分类		亮度对比	照度标准值/ lx					
			等	级		混合照明			一般照明		
						低	中	高	低	中	高
1	特别精细作业	$d \leq 0.15$	I	甲	小	1500	2000	3000	—	—	—
				乙	大	1000	1500	2000	—	—	—
2	很精细作业	$0.15 < d \leq 0.3$	I	甲	小	750	1000	1500	200	300	500
				乙	大	500	750	1000	150	200	300
3	精细作业	$0.3 < d \leq 0.6$	II	甲	小	500	750	1000	150	200	300
				乙	大	300	500	750	100	150	200
4	一般精细作业	$0.6 < d \leq 1.0$	IV	甲	小	300	500	750	100	150	200
				乙	大	200	300	500	75	100	150
5	一般作业	$1.0 < d \leq 2.0$	V	—	—	150	200	300	50	75	100
6	较粗糙作业	$2.0 < d \leq 5.0$	VI	—	—	—	—	—	30	50	75
7	粗糙作业	$d > 5.0$	VII	—	—	—	—	—	20	30	50
8	一般观察生产过程	—	VIII	—	—	—	—	—	10	15	20
9	大件贮存	—	IX	—	—	—	—	—	5	10	15
10	有自行发光材料的车间	—	X	—	—	—	—	—	30	50	75

注：1. 当采用高强度气体放电灯 (HID 光源) 作为一般照明时，在经常有人工作的工作场所，其照度标准值不宜低于 50lx。

2. 混合照明中的一般照明，其照度值应按该等级混合照明照度值的 5%~15% 选取，不宜低于 30lx，但采用高强度气体放电灯时，不宜低于 50lx。

3. 对于备用照明的照度标准值，不应低于本表中一般照明的 10%。而安全照明的照度标准值，不应低于一般照明的 5%。疏散照明主要通道上的疏散照明照度标准值，不应低于 0.5lx。

2. 一般生产车间和作业场所工作面上的照度标准值 如表 ZY10-12 所示。

表 ZY10-12 一般生产车间和作业场所工作面上的照度标准值 (据 GB 50034—92)

序号	车间和作业场所		视觉作业等级	照度标准值/ lx								
				混合照明			混合照明中的一般照明			一般照明		
				低	中	高	低	中	高	低	中	高
1	金属机械加工车间	粗加工	II 乙	300	500	750	30	50	75	—	—	—
		精加工	I 乙	500	750	1000	50	75	100	—	—	—
		精密加工	I 乙	1000	1500	2000	100	150	200	—	—	—
2	机电装配车间	大件装配	V	—	—	—	—	—	—	50	75	100
		小件装配、试车台	I 乙	500	750	1000	75	100	150	—	—	—
		精密装配	I 乙	1000	1500	2000	100	150	200	—	—	—

十、电气照明 (ZY10)

(续)

序号	车间和作业场所		视觉作业等级	照 度 标 准 值/lx								
				混合照明			混合照明中的一般照明			一般照明		
				低	中	高	低	中	高	低	中	高
3	焊接车间	手工焊接*、切割*、接触焊、电渣焊	V	—	—	—	—	—	—	50	75	100
		自动焊接、一般划线*	IV乙	—	—	—	—	—	—	75	100	150
		精密划线*	I甲	750	1000	1500	75	100	150	—	—	—
		备料(如有冲压、剪切设备则参照冲压剪切车间)	V	—	—	—	—	—	—	30	50	75
4	钣金车间		V	—	—	—	—	—	—	50	75	100
5	冲压剪切车间		IV乙	200	300	500	30	50	75	—	—	—
6	锻工车间		X	—	—	—	—	—	—	30	50	75
7	热处理车间		V	—	—	—	—	—	—	30	50	75
8	铸工车间	熔化、浇铸	X	—	—	—	—	—	—	30	50	75
		型砂处理、清理、落砂	V	—	—	—	—	—	—	20	30	50
		手工造型*	III乙	300	500	750	30	50	75	—	—	—
		机器造型	V	—	—	—	—	—	—	30	50	75
9	木工车间	机床区	III乙	300	500	750	30	50	75	—	—	—
		锯木区	V	—	—	—	—	—	—	50	75	100
		木模区	IV甲	300	500	750	50	75	100	—	—	—
10	表面处理车间	电镀槽间、喷漆间	V	—	—	—	—	—	—	50	75	100
		酸洗间、发兰间、喷砂间	V	—	—	—	—	—	—	30	50	75
		抛光间	III甲	500	750	1000	50	75	100	150	200	300
		电泳涂装间	V	—	—	—	—	—	—	50	75	100
11	电修车间	一般	IV甲	300	500	750	30	50	75	—	—	—
		精密	III甲	500	750	1000	50	75	100	—	—	—
		拆卸、清洗场地*	V	—	—	—	—	—	—	30	50	75
12	实验室	理化室	III乙	—	—	—	—	—	—	100	150	200
		计量室	III乙	—	—	—	—	—	—	150	200	300
13	动力站房	压缩机房	V	—	—	—	—	—	—	30	50	75
		泵房、风机房、乙炔发生器	VI	—	—	—	—	—	—	20	30	50
		锅炉房、煤气站的操作层	VI	—	—	—	—	—	—	20	30	50
14	配、变电所	变压器室、高压电容器室	VI	—	—	—	—	—	—	20	30	50
		高低压配电室、低压电容器室	V	—	—	—	—	—	—	30	50	75
		值班室	IV乙	—	—	—	—	—	—	75	100	150
		电缆间(夹层)	VII	—	—	—	—	—	—	10	15	20

(续)

序号	车间和作业场所		视觉作业等级	照度标准值/lx								
				混合照明			混合照明中的一般照明			一般照明		
				低	中	高	低	中	高	低	中	高
15	电源室	电动发电机室、整流间、柴油发电机室	VI	—	—	—	—	—	—	30	50	75
		蓄电池室	VII	—	—	—	—	—	—	20	30	50
16	控制室	一般控制室	IV乙	—	—	—	—	—	—	75	100	150
		主控制室	I乙	—	—	—	—	—	—	150	200	300
		热工仪表控制室	II乙	—	—	—	—	—	—	100	150	200
17	电话站	人工交换台、转换台	V	—	—	—	—	—	—	50	75	100
		自动电话交换机室	VI	—	—	—	—	—	—	100	150	200
		广播室	IV乙	—	—	—	—	—	—	75	100	150
18	仓库	大件贮存	IX	—	—	—	—	—	—	5	10	15
		中小件贮存	VIII	—	—	—	—	—	—	10	15	20
		精细件贮存、工具库		—	—	—	—	—	—	30	50	75
		乙炔瓶库、氧气瓶库、电石库		—	—	—	—	—	—	10	15	20
19	车库	停车间		—	—	—	—	—	—	10	15	20
		充电室		—	—	—	—	—	—	20	30	50
		检修间		—	—	—	—	—	—	30	50	75

注：1. 冲压剪切车间、铸工车间手工造型工段、锅炉房及煤气站操作层为了安全起见，照度应选最高值，其它一般情况下应取中间值。

2. 加“*”号者，表示被照面的计算高度为零，其它被照面的计算高度一般为离地面0.75m高的水平面。

3. 工业企业辅助建筑照度标准值 如表ZY10-13所示。

表ZY10-13 工业企业辅助建筑照度标准值 (据GB 50034—92)

序号	类别		规定照度的作业面	照度标准值/lx					
				混合照明			一般照明		
				低	中	高	低	中	高
1	办公室、资料室、会议室、报告厅		距地0.75m	—	—	—	75	100	150
2	工艺室、设计室、绘图室		距地0.75m	300	500	750	100	150	200
3	打字室		距地0.75m	500	750	1000	150	200	300
4	阅览室、陈列室		距地0.75m	—	—	—	100	150	200
5	医务室		距地0.75m	—	—	—	75	100	150
6	食堂、车间休息室、单身宿舍		距地0.75m	—	—	—	50	75	100
7	浴室、更衣室、厕所、楼梯间		地面	—	—	—	10	15	20
8	盥洗室		地面	—	—	—	20	30	50
9	托儿所、幼儿园	卧室	距地0.4~0.5m	—	—	—	20	30	50
		活动室	距地0.4~0.5m	—	—	—	75	100	150

4. 厂区露天作业场所和交通运输线的照度标准值 如表 ZY10-14 所示。

表 ZY10-14 厂区露天作业场所和交通运输线的照度标准值 (据 GB 50034—92)

序号	类别		规定照度的平面	照度标准值/lx		
				低	中	高
1	露天作业	视觉要求较高的工作	作业面	30	50	75
		用眼睛检查质量的金属焊接	作业面	15	20	30
		用仪器检查质量的金属焊接	作业面	10	15	20
		间断的检查仪表	作业面	10	15	20
		装卸工作	地面	5	10	15
		露天堆场	地面	0.5	1	2
2	道路和广场	主干道	地面	2	3	5
		次干道	地面	1	2	3
		厂前区	地面	3	5	10
3	站台	视觉要求较高的站台	地面	3	5	10
		一般站台	地面	1	2	3
4	装卸码头	地面	5	10	15	

(五) 民用建筑照明的照度标准

1. 图书馆建筑照明的照度标准值 如表 ZY10-15 所示。

表 ZY10-15 图书馆建筑照明的照度标准值 (据 GBJ 133—90)

序号	类别	参考平面及其高度	照度标准值/lx		
			低	中	高
1	一般阅览室、少年儿童阅览室、研究室、装裱修整间、美工室	0.75m 水平面	150	200	300
2	老年读者阅览室、善本书和舆图阅览室	0.75m 水平面	200	300	500
3	陈列室、目录厅(室)、出纳厅(室)、视听室、缩微阅览室	0.75m 水平面	75	100	150
4	读者休息室	0.75m 水平面	30	50	75
5	书库	0.25m 垂直面	20	30	50
6	开敞式运输传送设备	0.75m 水平面	50	75	100

2. 办公楼建筑照明的照度标准值 如表 ZY10-16 所示。

表 ZY10-16 办公楼建筑照明的照度标准值 (据 GBJ 133—90)

序号	类别	参考平面及其高度	照度标准值/lx		
			低	中	高
1	办公室、报告厅、会议室、接待室、陈列室、营业厅	0.75m 水平面	100	150	200
2	有视觉显示屏的作业 ^①	工作台水平面	150	200	300
3	设计室、绘图室、打字室	实际工作面	200	300	500
4	装订、复印、晒图、档案室	0.75m 水平面	75	100	150
5	值班室	0.75m 水平面	50	75	100
6	门厅	地面	30	50	75

① 有视觉显示屏的作业，屏幕上的垂直照度不应大于 150lx。

3. 商店、影剧院及旅馆等建筑照明的照度标准值 如表 ZY10-17 所示。

表 ZY10-17 商店、影剧院及旅馆等建筑照明的照度标准值 (据 GBJ 133—90)

序号	类别	参考平面及其高度	照度标准值/lx			
			低	中	高	
1 商店建筑照明的照度标准值						
1.1	一般商店营业厅	一般区域	0.75m 水平面	75	100	150
		柜台	柜台面上	100	150	200
		货架	1.5m 垂直面	100	150	200
		陈列柜、橱窗	货物所处平面	200	300	500
1.2	室内菜市场营业厅		0.75m 水平面	50	75	100
1.3	自选商场营业厅		0.75m 水平面	150	200	300
1.4	试衣室		试衣位置 1.5m 高处垂直面	150	200	300
1.5	收款处		收款台面	150	200	300
1.6	库房		0.75m 水平面	30	50	75
1.7	〔注〕陈列柜和橱窗是指展出重点、时新商品的展柜和橱窗					
2 影院剧场建筑照明的照度标准值						
2.1	门厅		地面	100	150	200
2.2	门厅过道		地面	75	100	150
2.3	观众厅	影院	0.75m 水平面	30	50	75
		剧场	0.75m 水平面	50	75	100
2.4	观众休息厅	影院	0.75m 水平面	50	75	100
		剧场	0.75m 水平面	75	100	150
2.5	贵宾室、服装室、道具间		0.75m 水平面	75	100	150
2.6	化妆室	一般区域	0.75m 水平面	75	100	150
		化妆台	1.1m 高处垂直面	150	200	300
2.7	放映室	一般区域	0.75m 水平面	75	100	150
		放映	0.75m 水平面	20	30	50
2.8	演员休息室		0.75m 水平面	50	75	100
2.9	排演厅		0.75m 水平面	100	150	200
2.10	声、光、电控制室		控制台面	100	150	200
2.11	美工室、绘景间		0.75m 水平面	150	200	300
2.12	售票房		售票台面	100	150	200
3 旅馆建筑照明的照度标准值						
3.1	客房	一般活动区	0.75m 水平面	20	30	50
		床头	0.75m 水平面	50	75	100
		写字台	0.75m 水平面	100	150	200
		卫生间	0.75m 水平面	50	75	100
		会客间	0.75m 水平面	20	50	75

(续)

序号	类 别	参考平面及其高度	照度标准值/lx		
			低	中	高
3.2	梳妆台	1.5m 高处垂直面	150	200	300
3.3	主餐厅、客房服务台、酒吧柜台	0.75m 水平面	50	75	100
3.4	西餐厅、酒吧间、咖啡厅、舞厅	0.75m 水平面	20	30	50
3.5	大宴会厅、总服务台、主餐厅柜台、外币兑换处	0.75m 水平面	150	200	300
3.6	门厅、休息厅	0.75m 水平面	75	100	150
3.7	理发	0.75m 水平面	100	150	200
3.8	美容	0.75m 水平面	200	300	500
3.9	邮电	0.75m 水平面	75	100	150
3.10	健身房、器械室、蒸汽浴室、游泳池	0.75m 水平面	30	50	75
3.11	游艺厅	0.75m 水平面	50	75	100
3.12	台球	台面	150	200	300
3.13	保龄球	地面	100	150	200
3.14	厨房、洗衣房、小卖部	0.75m 水平面	100	150	200
3.15	食品准备、烹调、配餐	0.75m 水平面	200	300	500
3.16	小件寄存处	0.75m 水平面	30	50	75
3.17	[注] ① 客房无台灯等局部照明时, 一般活动区的照度可提高一倍 ② 理发栏的照度值适用于普通招待所和旅馆的理发厅				

4. 铁路、港口旅客站建筑照明的照度标准值 如表 ZY10-18 所示。

表 ZY10-18 铁路、港口旅客站建筑照明的照度标准值 (据 GBJ 133--90)

序号	类 别	参考平面及其高度	照度标准值/lx		
			低	中	高
1	铁路旅客站建筑照明的照度标准值				
1.1	普通候车室、母子候车室、售票室	0.75m 水平面	50	75	100
1.2	贵宾室、软席候车室、售票厅、广播室、调度室、行车计划室、海关办公室、公安验证处、问讯处、补票处	0.75m 水平面	75	100	150
1.3	进站大厅、行李托运和领取处、小件寄存处	地面	50	75	100
1.4	检票处、售票工作台、售票柜、结帐交班台、海关检验处、票据存放室(库)	0.75m 水平面	100	150	200
1.5	公安值班室	0.75m 水平面	50	75	100
1.6	有棚站台、进出站地道、站台通道	地面	15	20	30
1.7	无棚站台、人行天桥、站前广场	地面	10	15	20
2	港口旅客站建筑照明的照度标准值				
2.1	检票口、售票工作台、结帐交班台、票据存放库、海关检查厅、护照检查室	0.75m 水平面	100	150	200
2.2	贵宾室、售票厅、补票处、调度室、广播室、问讯处、海关办公室	0.75m 水平面	75	100	150

(续)

序号	类别	参考平面及其高度	照度标准值/lx		
			低	中	高
2.3	售票室、候船室、候船通道、迎送厅、接待室、海关出入口	0.75m 水平面	50	75	100
2.4	行李托运处、小件寄存处	地面	50	75	100
2.5	栈桥、长廊	地面	20	30	50
2.6	站前广场	地面	10	15	20

5. 体育建筑照明的照度标准值 其体育运动场地的照度标准值如表 ZY10-19 所示; 其运动场地彩电转播照明的照度标准值如表 ZY10-20 所示。

表 ZY10-19 体育运动场地的照度标准值 (据 GBJ 133—90)

序号	运 动 项 目		参考平面及其高度	照度标准值/lx					
				训练			比赛		
				低	中	高	低	中	高
1	篮球、排球、羽毛球、网球、手球、田径(室内)、体操、艺术体操、技巧、武术		地面	150	200	300	300	500	750
2	棒球、垒球		地面	—	—	—	300	500	750
3	保龄球		地面	150	200	300	200	300	500
4	举重		地面	100	150	200	300	500	750
5	击剑		台面	200	300	500	300	500	750
6	柔道、中国摔跤、国际摔跤		地面	200	300	500	300	500	750
7	拳击		地面	200	300	500	1000	1500	2000
8	乒乓球		台面	300	500	750	500	750	1000
9	游泳、跳水、水球		水面	150	200	300	300	500	750
10	花样游泳		水面	200	300	500	300	500	750
11	冰球、速度滑冰、花样滑冰		冰面	150	200	300	300	500	750
12	围棋、中国象棋、国际象棋		台面	—	—	—	500	750	1000
13	桥牌		桌面	—	—	—	100	150	200
14	射击	靶心	靶心垂直面	1000	1500	2000	1000	1500	2000
		射击房	地面	50	100	150	50	100	150
15	足球、曲棍球	观看距离	120m	—	—	—	150	200	300
			160m	—	—	—	200	300	500
			200m	—	—	—	300	500	750
16	观众席		座位面	—	—	—	50	75	100
17	健身房		地面	100	150	200	—	—	—
18	消除疲劳用房		地面	50	75	100	—	—	—

- 注: 1. 篮球等项目的室外比赛应比室内比赛照度标准值降低一级。
 2. 乒乓球赛区其它部分不应低于台面照度的一半。
 3. 跳水区的照度设计应使观众和裁判员视线方向上的照度不低于 200lx。
 4. 足球和曲棍球的观看距离是指观众席最后一排到场地边线的距离。

表 ZY10-20 运动场地彩电转播照明的照度标准值 (据 GBJ 133—90)

序号	项目分组	参考平面及其高度	照度标准值/lx		
			最大摄影距离		
			25m	75m	150m
1	A组: 田径、柔道、游泳、摔跤等项目	1.0m 垂直面	500	750	1000
2	B组: 篮球、排球、羽毛球、网球、手球、体操、花样滑冰、速滑、垒球、足球等项目	1.0m 垂直面	750	1000	1500
3	C组: 拳击、击剑、跳水、乒乓球、冰球等项目	1.0m 垂直面	1000	1500	—

6. 住宅及公用场所照明的照度标准值 如表 ZY10-21 所示。

表 ZY10-21 住宅建筑及公用场所照明的照度标准值 (据 GBJ 133—90)

序号	类 型	参考平面及其高度	照度标准值/lx			
			低	中	高	
1	住宅建筑照明的照度标准值					
1.1	起居室、卧室	一般活动区	0.75m 水平面	20	30	50
		书写、阅读	0.75m 水平面	150	200	300
		床头阅读	0.75m 水平面	75	100	150
		精细作业	0.75m 水平面	200	300	500
1.2	餐厅或方厅、厨房	0.75m 水平面	20	30	50	
1.3	卫生间	0.75m 水平面	10	15	20	
1.4	楼梯间	地面	5	10	15	
2	公用场所照明的照度标准值					
2.1	走廊、厕所	地面	15	20	30	
2.2	楼梯间	地面	20	30	50	
2.3	盥洗间	0.75m 水平面	20	30	50	
2.4	贮藏室	0.75m 水平面	20	30	50	
2.5	电梯前室	地面	30	50	75	
2.6	吸烟室	0.75m 水平面	30	50	75	
2.7	浴室	地面	20	30	50	
2.8	开水房	地面	15	20	30	

(六) 照明质量

1. 眩光限制 直接眩光限制等级, 如表 ZY10-22 所示; 按照眩光限制的要求, 直接型灯具的最小遮光角如表 ZY10-23 所示; 室内一般照明灯具的最低悬挂高度如表 ZY10-24 所示。

表 ZY10-22 直接眩光限制等级 (据 GB 50034—92)

序号	质量等级	眩光程度	作业或活动的类型
1	A	无眩光	很严格的视觉作业
2	B	刚刚感到的眩光	视觉要求高的作业；视觉要求中等但集中注意力要求高的作业
3	C	轻度眩光	视觉要求和集中注意力要求中等的作业，并且工作人员有一定程度的流动性
4	D	不舒适眩光	视觉要求和集中注意力要求低的作业，工作人员在有限的区域内频繁走动
5	E	一定的眩光	工作人员不限于一个工作岗位而是来回走动，并且视觉要求低的房间，不是由同一批人连续使用的房间

注：GBJ 133—90《民用建筑照明设计标准》关于直接眩光限制质量等级分为：I—无眩光感；II—有轻微眩光；III—有眩光感等三级。

表 ZY10-23 直接型灯具的最小遮光角 (据 GB 50034—92)

序号	灯具出光口的平均亮度 / ($10^3 \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)	最小遮光角		光源类型	
		直接眩光限制等级			
		A、B、C	D、E		
1	$L \leq 20$	20°	10°*	管状荧光灯	
2	$20 < L \leq 500$	25°	15°	涂荧光粉或漫射光玻璃的高强气体放电灯	
3	$L > 500$	30°	20°	透明玻壳的高强气体放电灯，透明玻璃白炽灯	
备注	①标“*”号的线状的灯，从端向看遮光角为0°				
	②GBJ 133—90规定的直接型灯具最小遮光角如下表所示				
	灯具出光口的平均亮度 / ($10^3 \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)	直接眩光限制等级			应用光源举例
		I	II	III	
$L \leq 20$	20°	10°	—	荧光灯管	
$20 < L \leq 500$	25°	20°	15°	涂荧光粉或漫射光玻璃壳的高强气体放电灯	
$L > 500$	30°	25°	20°	透明玻壳的高强气体放电灯、透明玻壳的白炽灯、卤钨灯	

表 ZY10-24 室内一般照明灯具的最低悬挂高度 (据 GB 50034—92)

序号	光源种类	灯具型式	灯具遮光角	光源功率/W	最低悬挂高度/m
1	白炽灯	有反射罩	10°~30°	≤ 100	2.5
				150~200	3.0
				300~500	3.5
		乳白玻璃漫射罩	—	≤ 100	2.0
				150~200	2.5
				300~500	3.0
2	荧光灯	无反射罩	—	≤ 40	2.0
				> 40	3.0
		有反射罩	—	≤ 40	2.0
				> 40	2.0

(续)

序号	光源种类	灯具型式	灯具遮光角	光源功率/W	最低悬挂高度/m
3	荧光高压汞灯	有反射罩	10°~30°	<125	3.5
				125~250	5.0
				≥400	6.0
		有反射罩带格栅	>30°	<125	3.0
				125~250	4.0
				≥400	5.0
4	金属卤化物灯、 高压钠灯、 混光光源	有反射罩	10°~30°	<150	4.5
				150~250	5.5
				250~400	6.5
				>400	7.5
		有反射罩带格栅	>30°	<150	4.0
				150~250	4.5
				250~400	5.5
				>400	6.5

2. 光源颜色 光源的色表类别及其适用场所示例, 如表 ZY10-25 所示; 光源的一般显色指数类别及其适用场所示例, 如表 ZY10-26 所示。对颜色识别有要求的工作场所, 当使用照度在 500lx 及以下、采用光源的显色指数较低时, 照度标准值 (表 ZY10-11) 应乘以表 ZY10-27 所示相对照度系数值。

表 ZY10-25 光源的色表类别及其适用场所示例 (据 GB 50034-92)

序号	色表类别	色表特征	相关色温/K	适用场所示例
1	I	暖	<3300	车间局部照明、工厂辅助生活设施等
2	II	中间	3300~5300	除要求使用冷色、暖色以外的各类车间
3	III	冷	>5300	高照度水平、热加工车间等

注: GBJ 133-90 中关于光源的各种色表类别的适用场所举例为:

- I 类——客房、卧室等;
- II 类——办公室、图书馆等;
- III 类——高照度水平或白天需补充自然光的房间。

表 ZY10-26 光源的一般显色指数类别及其适用场所示例 (据 GB 50034-92)

序号	显色类别	一般显色指数	适用场所示例	备注 (GBJ 133-90 示例)
1	I	A $R_a \geq 90$	颜色匹配、颜色检验等	客房、卧室、绘图室等颜色要求很高的场所
		B $90 > R_a \geq 80$	印刷、食品分检、油漆等	
2	II	$80 > R_a \geq 60$	机电装配、表面处理、控制室等	办公室、休息室等颜色要求较高的场所
3	III	$60 > R_a \geq 40$	机械加工、热处理、铸造等	行李房等辨色要求一般的场所
4	IV	$40 > R_a \geq 20$	仓库、大件金属库等	库房等辨色要求不高的场所

表 ZY10-27 相对照度系数值 (据 GB 50034—92)

序号	一般显色指数 R_a	照度 E/lx	
		$300 \leq E \leq 500$	$E < 300$
		相对照度系数值	
1	$80 > R_a \geq 60$	1.20	1.25
2	$60 > R_a \geq 40$	1.30	1.40

注:对颜色识别有要求的工作场所,当使用照度在 500lx 及以下,采用的光源的显色指数较低时,宜提高其照度标准值,其提高值为表 ZY10-11 的照度标准值乘以本表的相对照度系数值。

3. 照度均匀度 其要求如表 ZY10-28 所示。

表 ZY10-28 照度均匀度要求 (据 GB 50034—92 和 GBJ 133—90)

序号	标准名称	照度均匀度要求
1	GB50034—92 《工业企业照明设计标准》	①作业区域的一般照明照度均匀度,不宜小于 0.7 ②工作场所内走道和非作业区域的一般照明照度,不宜小于作业区域一般照明照度的 1/5
2	GBJ 133—90 《民用建筑照明设计标准》	①办公室、阅览室等工作房间一般照明照度均匀度,不宜小于 0.7 ②房间内的通道和其它非工作区域的一般照明照度,不宜小于工作面照度值的 1/5 ③局部照明与一般照明共用时,工作面上一般照明照度宜为总照度值的 1/3~1/5,且不宜低于 50lx ④在体育运动场地内的主要摄像方向上,垂直照度均匀度不宜小于 0.4,平均垂直照度与平均水平照度之比不宜小于 0.25;场地水平照度均匀度不宜小于 0.5,观众席的垂直照度不宜小于场地垂直照度的 0.25

4. 反射比 长时间工作的房间表面反射比宜按表 ZY10-29 确定,以形成舒适的环境亮度,提高视觉功效。

表 ZY10-29 长时间工作房间表面的反射比 (据 GB 50034—92)

序号	表面名称	反射比
1	顶棚	0.70~0.80
2	墙面	0.50~0.70
3	地面	0.20~0.40
4	设备	0.25~0.45

注:GBJ 133—90 关于在办公室、阅览室等长时间连续工作的房间,对其表面除推荐相宜的反射比与本表相同外,尚推荐相宜的照度比(表面对工作面的照度比)为:顶棚:0.25~0.9;墙面、隔断:0.4~0.8;地面:0.7~1.0。

(七) 照明设计

1. 照明方式和照明种类的选择 如表 ZY10-30 所示。

表 ZY10-30 照明方式和照明种类的选择 (据 GB 50034—92)

序号	项目	说明
1	照明方式及其选择	
1.1	分类	①一般照明；②分区一般照明；③局部照明；④混合照明
1.2	选择原则	①当不适合装设局部照明或采用混合照明不合理时，宜采用一般照明 ②当某一工作区需要高于一般照明照度时，可采用分区一般照明 ③对于照度要求较高，工作位置密度不大，且单独装设一般照明不合理的场所，宜采用混合照明 ④在一个工作场所内不应只装设局部照明
2	照明种类及其选择	
2.1	分类	①正常照明；②应急照明（含备用照明、安全照明、疏散照明）；③值班照明；④警卫照明；⑤障碍照明
2.2	选择原则	①当正常照明因故障熄灭后，对需要确保正常工作或活动继续进行的场所，当装设备用照明 ②当正常照明因故障熄灭后，对需要确保处于危险之中的人员安全的场所，应装设安全照明 ③当正常照明因故障熄灭后，对需要确保人员安全疏散的出口和通道，应装设疏散照明 ④值班照明宜利用正常照明中能单独控制的一部分或利用应急照明的一部分或全部 ⑤警卫照明应根据需要，在警卫范围内装设 ⑥障碍照明的装设，应严格执行所在地区航空或交通部门的有关规定

注：GBJ 133—90 的规定，基本上与本表规定相同；但对应急照明的照度尚有如下规定：

- ① 疏散照明的地面水平照度不宜低于 0.5lx。
- ② 工作场所内安全照明的照度不宜低于该场所一般照明照度的 5%；
- ③ 备用照明（不含消防控制室、消防水泵房、配电室和自备发电机房等场所）的照度不宜低于一般照明照度的 10%。

2. 照明光源和灯具的选择 如表 ZY10-31 所示。

表 ZY10-31 照明光源和灯具的选择 (据 GB 50034—92)

序号	项目	说明
1	照明光源及其选择	
1.1	宜采用的照明光源类别	①荧光灯；②白炽灯；③高强气体放电灯（高压钠灯、高压汞灯、金属卤化物灯）等
1.2	按悬挂高度选择的光源	①悬挂高度在 4m 及以下时，宜采用荧光灯 ②悬挂高度在 4m 以上时，宜采用高强气体放电灯；当不宜采用高强气体放电灯时，也可采用白炽灯
1.3	宜采用白炽灯的场所	①局部照明的场所 ②防止电磁波干扰的场所 ③因光源频闪效应影响视觉效果场所 ④经常开闭灯的场所 ⑤照度不高、且照明时间较短的场所
1.4	应急照明光源的选择	①应急照明应采用能瞬时可靠点燃的白炽灯、荧光灯等 ②当应急照明作为正常照明的一部分经常点燃且不需要切换电源时，可采用其它光源

(续)

序号	项 目	说 明
1.5	混光光源的选择	当采用一种光源不能满足光色或显色性要求时,可采用两种光源形式的混光光源。混光光源的混光光通量比,宜按表 GB50034—92 表 4.0.5 选取
2	照明灯具及其选择	
2.1	对照明灯具的要求	照明灯具应具有完整的光度参数,其机械、电气、防火等性能应分别符合现行国家标准《灯具通用安全要求和试验》和《灯具外壳防护等级分类》等的有关规定
2.2	灯具优先选用原则	①应优先选用配光合理、效率较高的灯具 ②室内开启式灯具的效率不宜低于 70%;带有包合式灯罩的灯具的效率不宜低于 55%;带格栅灯具的效率不宜于 50%
2.3	按工作场所的环境条件选择灯具	①在特别潮湿的场所,应采用防潮灯具或带防水灯头的开启式灯具 ②在有腐蚀性气体和蒸汽的场所,宜采用耐腐蚀性材料制成的密闭式灯具;如采用开启式灯具时,各部分应有防腐蚀防水措施 ③在高温场所,宜采用带有散热孔的开启式灯具 ④在有尘埃的场所,应按防尘的保护等级分类来选择合适的灯具 ⑤在装有锻锤、重级工作制桥式吊车等振动、摆动较大场所的灯具,应有防震措施和保护网,防止灯泡自动松脱和掉下 ⑥在易受机械损伤场所的灯具,应加保护网 ⑦在有爆炸和火灾危险场所使用的灯具,应符合现行国家标准和规范的有关规定 ⑧灯具和镇流器表面的高温部位靠近可燃物时,应采取隔热、散热等防火保护措施

注: GBJ 133—90 中规定: 开关频繁、要求瞬时启动和连续调光等场所,宜采用白炽灯和卤钨灯光源。

3. 民用建筑照明设计要求 如表 ZY10-32 所示。

表 ZY10-32 民用建筑照明的设计要求 (据 GBJ 133—90)

序号	项 目	说 明
1	图书馆建筑照明设计的要求	① 存放或阅读善本书、舆图、图件等珍贵资料的场所,不宜采用具有紫外光、紫光和蓝光等短波辐射的光源 ② 书库照明宜选用配光适当的灯具。灯具与书架位置应准确配合。书库地面宜采用反射比较高的材料 ③ 一般阅览室、研究室、装裱修整间、出纳厅(室)宜增设局部照明。老年读者阅览室、善本和舆图阅览室、缩微阅览室宜增设局部照明及调光装置
2	办公楼建筑照明设计的要求	① 对有长时间连续工作的办公室、阅览室、计算机显示屏等工作区域,宜控制光幕反射和反射眩光 ② 顶棚上的灯具不宜设置在工作位置的正前方,宜设在工作区的两侧,并使灯具的长轴方向与水平射线相平行,以便减少光幕反射和反射眩光 ③ 视觉作业的邻近表面以及房间内的装修表面宜采用无光泽的装饰材料 ④ 营业柜台或陈列区域宜增设局部照明
3	商店建筑照明设计的要求	① 应防止货架、柜台和橱窗的直接眩光和反射眩光 ② 商店营业厅照明装置的位置和方向宜考虑变化的可能 ③ 照明立体展品(如服装模特等)灯具的位置应使光线方向和照度分布有利于加强展品的立体感

(续)

序号	项 目	说 明
4	影剧院建筑照明设计的要求	① 影院剧场观众厅宜设观众席座位排号灯 ② 影院剧场观众厅宜设调光装置
5	旅馆建筑照明设计的要求	① 旅馆建筑照明设计应满足视觉功效和非视觉功效(如引导人流、划分空间、创造气氛、增强建筑表现力等)两方面的要求 ② 客房、餐厅、休息厅、酒吧间、咖啡厅和舞厅等场所宜采用低色温的光源,且宜增设调光装置
6	住宅建筑照明设计的要求	① 住宅照明设计应使室内光环境实用和舒适;卧室和餐厅宜采用低色温的光源 ② 起居室、卧室中的书写阅读和精细作业宜增设局部照明 ③ 楼梯间照明宜采用定时开关或双控开关
7	铁路、港口旅客站建筑照明设计的要求	① 高大空间旅客候车室、候船室、站台和行李存放等场所,不应采用白炽灯和荧光灯,应采用显色性较好的高强气体放电灯 ② 候车室、候船室、站台等场所应采用外形与建筑物形式相协调、维修方便和效率高的灯具 ③ 检票处、售票工作台、售票柜、结账交班台、海关检验处和票据存放室(库)宜增设局部照明 ④ 较大的站台和广场宜采用高杆照明
8	体育建筑照明设计的要求	① 游泳比赛和训练场地照明灯具的布置宜沿游泳池长边的两侧排列 ② 花样游泳照明设计应增设水下照明装置;水下照明应按灯具的光通量计算,每平方米水面的光通量不宜小于1000lm ③ 中国摔跤、国际摔跤、拳击的比赛和训练场地以及各种棋类的比赛场地照明宜增设局部照明

4. 照明供电要求 如表 ZY10-33 所示。

表 ZY10-33 照明供电要求 (据 GB 50034—92)

序号	项 目	说 明
1	灯的端电压偏移要求	灯的端电压一般不宜高于其额定电压的 105%,亦不宜低于其额定电压的下列数值: ① 一般工作场所为 95% ② 露天工作场所、远离变电所的小面积工作场所的照明难于满足 95%时,可降到 90% ③ 应急照明、道路照明、警卫照明及电压为 12~42V 的照明为 90%
2	灯具应采用 24V 及以下电压的情况	容易触及而又无防止触电措施的固定式或移动式灯具,其安装高度距地面为 2.2m 及以下,且具有下列条件之一时,其使用电压不应超过 24V: ① 特别潮湿的场所 ② 高温场所 ③ 具有导电灰尘的场所 ④ 具有导电地面的场所

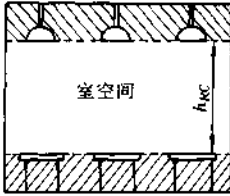
(续)

序号	项 目	说 明
3	手提行灯使用 12V 及以下电压的情况	在工作场所的狭窄地点,且作业者接触大块金属面,如在锅炉、金属容器内等,使用的手提行灯电压不应超过 12V
4	照明电源必须隔离的情况	对 42V 及以下安全电压的局部照明的电源和手提行灯的电源,其输入电路与输出电路必须实行电路上的隔离
5	减小冲击性电压波动和闪变对照明的影响的措施	① 较大功率的冲击性负荷或冲击性负荷群与照明负荷,分别由不同的配电变压器或照明专用变压器供电 ② 当冲击性负荷和照明负荷共用变压器供电时,照明负荷宜用专线供电
6	对照明电源线路的要求	① 建筑物照明电源线路的进户处,应装设带有保护装置的总开关 ② 由公共低压电网供电的照明负荷,线路电流不超过 30A 时,可用 220V 单相供电,否则,应以 220/380V 三相四线供电 ③ 室内照明线路,每一单相分支回路的电流,一般情况下不宜超过 15A,所接灯头数不宜超过 25 个,但花灯、彩灯、多管荧光灯除外;插座宜单独设置分支回路 ④ 对高强度气体放电灯的照明,每一单相分支回路的电流不宜超过 30A,并按启动及再启动特性,选择保护电器和验算线路的电压损失值 ⑤ 对气体放电灯供电的三相四线照明线路,其中性线截面应按最大一相电流选择
7	应急照明供电方式的选择要求	应急照明的电源,应区别于正常照明的电源。不同用途的应急照明电源,应采用不同的切换时间和连续供电时间。应急照明的供电方式,宜按下列之一选用: ① 独立于正常电源的发电机组 ② 蓄电池 ③ 供电网络中有效地独立于正常电源的馈电线路 ④ 应急照明灯自带直流逆变器 ⑤ 当装有两台及以上变压器时,应与正常照明的供电干线分别接自不同的变压器 ⑥ 仅装有一台变压器时,应与正常照明的供电干线自变电所的低压屏上(或母线上)分开。当建筑物内未设变压器时,则在建筑物电源线进户处与正常照明回路分开,并不得与正常照明共用一个总开关 对重要场所的应急照明供电方式,应按上述①~④之一选用
8	应急照明的控制要求	① 应急照明作为正常照明的一部分同时使用时,应有单独的控制开关 ② 应急照明不作正常照明的一部分同时使用时,当正常照明因故停电时,应急照明电源宜自动投入
9	消除频闪效应的措施	在气体放电灯的频闪效应对视觉作业有影响的场所,其同一或不同一灯具的相邻灯管(灯泡)宜分别接在不同相位的线路上
10	气体放电灯的电容补偿	对气体放电灯宜采用电容补偿,以提高功率因数。装有单独补偿电容的灯具应装设保护装置,其值应按改善功率因数后的电流进行整定

(八) 照明计算

1. 利用系数法 如表 ZY10-34 所示。GC1-A、B-1 型配照灯的利用系数值如表 ZY10-35 所示。其它灯具的利用系数可参看文献〔3〕等资料。

表 ZY10-34 利用系数法

序号	项目	说明																				
1	概述	利用系数法是根据照明光源光通量的利用程度(利用系数)来计算水平工作面平均照度的一种方法,又称“流明法”。其计算比较简便,也比较准确,但只能计算水平面的照度。此法适用于灯具均匀布置的一般照明																				
2	计算公式	按利用系数法计算水平工作面的平均照度 (lx), $E_{av} = \frac{uKn\Phi_N}{A}$ 式中, u 为利用系数,可根据墙壁、顶棚的反射比及室空间比 (RCR, 其计算见序号 3) 由相关灯具的利用系数表查得; K 为维护系数,可根据照明场所卫生状况确定 (见序号 4); n 为灯具数; Φ_N 为灯具光源的光通量 (lm, 参看表 ZY10-5); A 为受照房间的水平面面积 (m ²)																				
3	室空间比 (RCR)	室空间比 (room cabin ratio) 是表征房间受照空间特点的一个参数,用下式计算: $RCR = \frac{5h_{RC}(l+w)}{lw}$ 式中, h_{RC} 为室空间高度 (参看右图); l 为房间的长度; w 为房间的宽度 																				
4	维护系数 (K)	照明装置的维护系数 (或称“减光系数”) 可由下表确定 (据 GB 50034—92 和 GBJ133—90):																				
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>环境污 染特征</th> <th>类 别</th> <th>灯具擦洗次数 (次/年)</th> <th>维护 系数</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>清洁</td> <td>仪器、仪表的装配车间,电子元器件的装配车间,实验室,办公室,设计室,绘图室,阅览室,住宅卧室,餐厅等</td> <td>2</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>一般</td> <td>机械加工车间,机械装配车间,织布车间,商店营业厅,候车(船)室,影剧院观众厅等</td> <td>2</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td>污染严重</td> <td>锻工车间、铸工车间、碳化车间、水泥厂球磨车间、厨房等</td> <td>3</td> <td>0.6</td> </tr> <tr> <td>室外</td> <td>道路和广场</td> <td>2</td> <td>0.7</td> </tr> </tbody> </table>	环境污 染特征	类 别	灯具擦洗次数 (次/年)	维护 系数	清洁	仪器、仪表的装配车间,电子元器件的装配车间,实验室,办公室,设计室,绘图室,阅览室,住宅卧室,餐厅等	2	0.8	一般	机械加工车间,机械装配车间,织布车间,商店营业厅,候车(船)室,影剧院观众厅等	2	0.7	污染严重	锻工车间、铸工车间、碳化车间、水泥厂球磨车间、厨房等	3	0.6	室外	道路和广场	2	0.7
		环境污 染特征	类 别	灯具擦洗次数 (次/年)	维护 系数																	
		清洁	仪器、仪表的装配车间,电子元器件的装配车间,实验室,办公室,设计室,绘图室,阅览室,住宅卧室,餐厅等	2	0.8																	
		一般	机械加工车间,机械装配车间,织布车间,商店营业厅,候车(船)室,影剧院观众厅等	2	0.7																	
污染严重	锻工车间、铸工车间、碳化车间、水泥厂球磨车间、厨房等	3	0.6																			
室外	道路和广场	2	0.7																			

注:表中“灯具擦洗次数”和“维护系数”均系 GB 50034—92 的规定,GBJ 133—90 未规定“灯具擦洗次数”,而“维护系数”为:清洁——0.75~0.80,一般——0.70~0.75,污染严重——0.65~0.70,前一数值适于“白炽灯、荧光灯、高强度气体放电灯”,后一数值适于“卤钨灯”。

表 ZY10-35 GC1-A、B-1 型配照灯的利用系数值

顶棚反射比 (%)		70			50			30			0
墙壁反射比 (%)		50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
室 空 间 比 (RCR)	1	0.85	0.82	0.78	0.82	0.79	0.76	0.78	0.76	0.74	0.70
	2	0.73	0.68	0.63	0.70	0.66	0.61	0.68	0.63	0.60	0.57
	3	0.64	0.57	0.51	0.61	0.55	0.50	0.59	0.54	0.49	0.46
	4	0.56	0.49	0.43	0.54	0.48	0.43	0.52	0.46	0.42	0.39
	5	0.50	0.42	0.36	0.48	0.41	0.36	0.46	0.40	0.35	0.33
	6	0.44	0.36	0.31	0.43	0.36	0.31	0.41	0.35	0.30	0.28
	7	0.39	0.32	0.26	0.38	0.31	0.26	0.37	0.30	0.26	0.24
	8	0.35	0.28	0.23	0.34	0.28	0.23	0.33	0.27	0.23	0.21
	9	0.32	0.25	0.20	0.31	0.24	0.20	0.30	0.24	0.20	0.18
	10	0.29	0.22	0.17	0.28	0.22	0.17	0.27	0.21	0.17	0.16

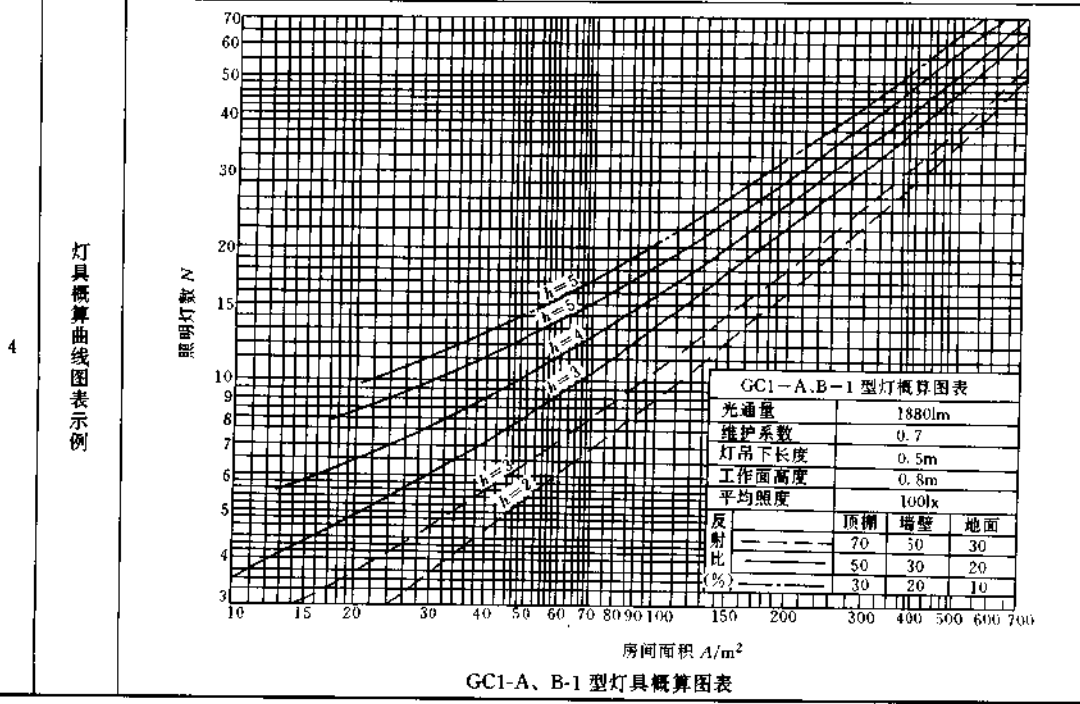
注:1. GC1-A、B-1 型中的“A”表示为“管吊式”,“B”表示为“链吊式”。

2. 本表适用于装设一个 PZ220-150 型白炽灯”的 GC1 型灯具。

2. 概算曲线法 如表 ZY10-36 所示。GC1-A、B-1 型配照灯的概算曲线图表如该表的序号 4 所示。其它灯具的概算曲线图表可参看文献 [3] 等资料。

表 ZY10-36 概算曲线法

序号	项目	说 明
1	概述	<p>概算曲线法是利用系数法的工程简化,借助已绘制的概算曲线图表进行照度计算或由照度标准值来确定灯数</p> <p>灯具的概算曲线是根据利用系数法公式导出的下式进行计算而绘出的被照房间面积与所用灯具数目之间的关系曲线:</p> $n = \frac{E_{st}A}{uK\Phi_N}$ <p>概算曲线的假设条件为:被照水平工作面的平均照度为 100lx</p>
2	根据照度标准来确定灯数的步骤	<p>①根据环境条件和照明要求初选灯具和光源</p> <p>②计算受照房间面积 A</p> <p>③由概算曲线查出计算灯数 N (受照工作面的平均照度假设为 100lx)</p> <p>④根据照度标准值 E_N 按下式计算出实际灯数 n, 并考虑灯具布置:</p> $n = \frac{E_N K'}{100lx} N$ <p>式中, K' 为概算曲线所依据的维护系数 (一般为 0.7); K 为实际的维护系数 (参看表 ZY10-34 序号 4)</p> <p>⑤校验最大允许距高比</p> <p>⑥验算实际的平均照度</p>
3	根据初步确定的灯具布置方案计算照度的步骤	<p>①根据环境条件和照明要求初选灯具和光源, 并初步确定布置方案和灯数 n</p> <p>②计算受照房间面积 A</p> <p>③由概算曲线查出计算灯数 N (受照工作面的平均照度假设为 100lx)</p> <p>④根据初步确定的灯数 n 按下式计算出水平工作面的平均照度:</p> $E = 100 \times \frac{K_n}{K'N} lx$ <p>式中, K 和 K' 分别为实际的维护系数和概算曲线所依据的维护系数</p> <p>⑤校验是否满足照度标准值要求; 如不满足要求, 则重选灯具、光源, 或调整灯具布置方案、增加灯数</p>



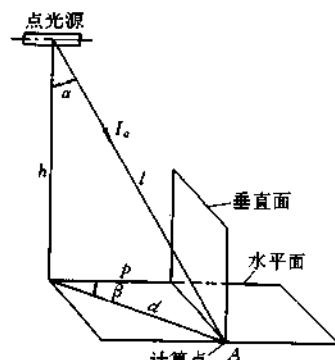
3. 单位容量法 如表 ZY10-37 所示。配照型灯单位面积安装容量 (部分) 如该表中序号 3 所示。其它灯具的单位面积安装容量数据可参看文献 [3] 等资料。

表 ZY10-37 单位容量法

序号	项目	说 明																																																																																																																																																																																				
1	概述	单位容量为“单位面积安装容量”的简称,亦称“比功率”。因此单位容量法,又称“比功率法” 单位容量法只适用于方案或初步设计时的近似计算,且只适用于灯具均匀布置的一般照明																																																																																																																																																																																				
2	按单位容量法确定灯数或每灯功率	①灯具的单位容量 p_0 ,可根据灯具型式、悬挂高度及平均照度标准由相应的单位面积安装容量表中查得 ②根据受照的水平面积 A ,可求得灯具的总的安装容量: $P_{\Sigma} = p_0 A$ ③如已确定每灯的光源功率 P_N ,即可由下式求出需安装的灯具数目: $n \geq P_{\Sigma} / P_N$ 如已确定灯数,则可由下式求出每灯必需的功率: $P_N \geq P_{\Sigma} / n$																																																																																																																																																																																				
3	配照灯的单位容量 $p_0 / (W \cdot m^{-2})$	灯在工作面上高度 /m 被照面积 /m ² 白炽灯平均照度 (lx)	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>5</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> <th>30</th> <th>50</th> <th>75</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="6">2~3</td> <td>10~15</td> <td>3.3</td> <td>6.2</td> <td>8.4</td> <td>11</td> <td>15</td> <td>22</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>15~25</td> <td>2.7</td> <td>5.0</td> <td>6.8</td> <td>9.0</td> <td>12</td> <td>18</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>25~50</td> <td>2.3</td> <td>4.3</td> <td>5.9</td> <td>7.5</td> <td>10</td> <td>15</td> <td>21</td> </tr> <tr> <td>50~150</td> <td>2.0</td> <td>3.8</td> <td>5.3</td> <td>6.7</td> <td>9.0</td> <td>13</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>150~300</td> <td>1.8</td> <td>3.4</td> <td>4.7</td> <td>6.0</td> <td>8.0</td> <td>12</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td>300以上</td> <td>1.7</td> <td>3.2</td> <td>4.5</td> <td>5.8</td> <td>7.5</td> <td>11</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td rowspan="7">3~4</td> <td>10~15</td> <td>4.3</td> <td>7.5</td> <td>9.6</td> <td>12.7</td> <td>17</td> <td>26</td> <td>36</td> </tr> <tr> <td>15~20</td> <td>3.7</td> <td>6.4</td> <td>8.5</td> <td>11.0</td> <td>14</td> <td>22</td> <td>31</td> </tr> <tr> <td>20~30</td> <td>3.1</td> <td>5.5</td> <td>7.2</td> <td>9.3</td> <td>13</td> <td>19</td> <td>27</td> </tr> <tr> <td>30~50</td> <td>2.5</td> <td>4.5</td> <td>6.0</td> <td>7.5</td> <td>10.5</td> <td>15</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>50~120</td> <td>2.1</td> <td>3.8</td> <td>5.1</td> <td>6.3</td> <td>8.5</td> <td>13</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>120~300</td> <td>1.8</td> <td>3.3</td> <td>4.4</td> <td>5.5</td> <td>7.5</td> <td>12</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>300以上</td> <td>1.7</td> <td>2.9</td> <td>4.0</td> <td>5.0</td> <td>7.0</td> <td>11</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td rowspan="8">4~6</td> <td>10~17</td> <td>5.2</td> <td>8.9</td> <td>11.4</td> <td>15</td> <td>21</td> <td>33</td> <td>48</td> </tr> <tr> <td>17~25</td> <td>4.1</td> <td>7.0</td> <td>9.0</td> <td>12</td> <td>16</td> <td>27</td> <td>37</td> </tr> <tr> <td>25~35</td> <td>3.4</td> <td>5.8</td> <td>7.7</td> <td>10</td> <td>14</td> <td>22</td> <td>32</td> </tr> <tr> <td>35~50</td> <td>3.0</td> <td>5.0</td> <td>6.8</td> <td>8.5</td> <td>12</td> <td>19</td> <td>27</td> </tr> <tr> <td>50~80</td> <td>2.4</td> <td>4.1</td> <td>5.6</td> <td>7.0</td> <td>10</td> <td>15</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>80~150</td> <td>2.0</td> <td>3.3</td> <td>4.6</td> <td>5.8</td> <td>8.5</td> <td>12</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td>150~400</td> <td>1.7</td> <td>2.8</td> <td>3.9</td> <td>5.0</td> <td>7.0</td> <td>11</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>400以上</td> <td>1.5</td> <td>2.5</td> <td>3.5</td> <td>4.0</td> <td>6.0</td> <td>10</td> <td>14</td> </tr> </tbody> </table>		5	10	15	20	30	50	75	2~3	10~15	3.3	6.2	8.4	11	15	22	30	15~25	2.7	5.0	6.8	9.0	12	18	25	25~50	2.3	4.3	5.9	7.5	10	15	21	50~150	2.0	3.8	5.3	6.7	9.0	13	18	150~300	1.8	3.4	4.7	6.0	8.0	12	17	300以上	1.7	3.2	4.5	5.8	7.5	11	16	3~4	10~15	4.3	7.5	9.6	12.7	17	26	36	15~20	3.7	6.4	8.5	11.0	14	22	31	20~30	3.1	5.5	7.2	9.3	13	19	27	30~50	2.5	4.5	6.0	7.5	10.5	15	22	50~120	2.1	3.8	5.1	6.3	8.5	13	18	120~300	1.8	3.3	4.4	5.5	7.5	12	16	300以上	1.7	2.9	4.0	5.0	7.0	11	15	4~6	10~17	5.2	8.9	11.4	15	21	33	48	17~25	4.1	7.0	9.0	12	16	27	37	25~35	3.4	5.8	7.7	10	14	22	32	35~50	3.0	5.0	6.8	8.5	12	19	27	50~80	2.4	4.1	5.6	7.0	10	15	22	80~150	2.0	3.3	4.6	5.8	8.5	12	17	150~400	1.7	2.8	3.9	5.0	7.0	11	15	400以上	1.5	2.5	3.5	4.0	6.0	10	14
	5	10	15	20	30	50	75																																																																																																																																																																															
2~3	10~15	3.3	6.2	8.4	11	15	22	30																																																																																																																																																																														
	15~25	2.7	5.0	6.8	9.0	12	18	25																																																																																																																																																																														
	25~50	2.3	4.3	5.9	7.5	10	15	21																																																																																																																																																																														
	50~150	2.0	3.8	5.3	6.7	9.0	13	18																																																																																																																																																																														
	150~300	1.8	3.4	4.7	6.0	8.0	12	17																																																																																																																																																																														
	300以上	1.7	3.2	4.5	5.8	7.5	11	16																																																																																																																																																																														
3~4	10~15	4.3	7.5	9.6	12.7	17	26	36																																																																																																																																																																														
	15~20	3.7	6.4	8.5	11.0	14	22	31																																																																																																																																																																														
	20~30	3.1	5.5	7.2	9.3	13	19	27																																																																																																																																																																														
	30~50	2.5	4.5	6.0	7.5	10.5	15	22																																																																																																																																																																														
	50~120	2.1	3.8	5.1	6.3	8.5	13	18																																																																																																																																																																														
	120~300	1.8	3.3	4.4	5.5	7.5	12	16																																																																																																																																																																														
	300以上	1.7	2.9	4.0	5.0	7.0	11	15																																																																																																																																																																														
4~6	10~17	5.2	8.9	11.4	15	21	33	48																																																																																																																																																																														
	17~25	4.1	7.0	9.0	12	16	27	37																																																																																																																																																																														
	25~35	3.4	5.8	7.7	10	14	22	32																																																																																																																																																																														
	35~50	3.0	5.0	6.8	8.5	12	19	27																																																																																																																																																																														
	50~80	2.4	4.1	5.6	7.0	10	15	22																																																																																																																																																																														
	80~150	2.0	3.3	4.6	5.8	8.5	12	17																																																																																																																																																																														
	150~400	1.7	2.8	3.9	5.0	7.0	11	15																																																																																																																																																																														
	400以上	1.5	2.5	3.5	4.0	6.0	10	14																																																																																																																																																																														

4. 逐点计算法 如表 ZY10-38 所示。

表 ZY10-38 逐点计算法

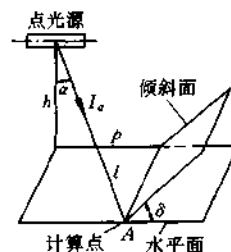
序号	项目	说明
1	概述	逐点计算法又称“点照度计算法”，它是逐一计算附近各个光源对照度计算点的照度，然后叠加起来，求得计算点的总照度
2	逐点计算法的光源类型及计算方法	<p>①点光源的逐点计算法——所谓“点光源”，是指其圆形发光体的直径小于其至受照面距离的 1/5 或线形发光体的长度小于照射距离（斜距）的 1/4 的一类光源。通常采用“平方反比法”计算点照度</p> <p>②线光源的逐点计算法——所谓“线光源”，是指当发光体的宽度小于计算高度（即灯具在计算点上的垂直高度 h）的 1/4，长度大于计算高度的 1/2，发光体间隔较小（间隔 $< h/4\cos\alpha$，α 为受照面法线与入射光线的夹角）且等距的成行排列的一类光源，可视为连续线光源。通常采用“方位系数法”计算点照度</p> <p>③面光源的逐点计算法——所谓“面光源”，是指其发光体的形状和尺寸在照明场所中占有很大比例，且已超出点光源和线光源所具有的形状概念的一类光源。可采用形状因数法（或称“立体角投影率法”）计算点照度</p> <p>限于篇幅，下面只介绍应用比较广的点光源逐点计算法</p>
3	点光源逐点计算法的特点	<p>①假设灯具的光源为“点光源”，条件如序号 2 中①所述</p> <p>②主要应用距离平方反比定律（通称“照度定律”）： $E = \frac{I_c \cos\alpha}{l^2}$ 式中，I_c 为光源在照度计算点（A）方向的光强；α 为受照面法线与入射光线的夹角（如右图所示）；l 为光源至照度计算点的距离</p> <p>③逐点计算法可计算任一倾斜面上的照度，但是只考虑了光源的直射光</p> 
4	点光源逐点计算法的计算步骤与方法	<p>逐点计算法可以利用灯具的空间等照度曲线或其平面相对等照度曲线来进行照度计算。计算步骤如下：</p> <p>①根据所确定的照明方案，选择几个有检测意义的照度计算点</p> <p>②根据每盏灯至计算点的水平距离 d 和垂直距离 h，从灯具的空间等照度曲线上查得各灯具的假想光源（其 $\Phi = 1000\text{lm}$）在计算点的水平面产生的假想照度 E_{ims}；或根据每盏灯对计算点的 d/h 比值和灯具对计算点的水平面位置角 β（参看序号 3 图），从灯具的平面相对等照度曲线上查得各灯具的假想光源（其 $\Phi = 1000\text{lm}$）在计算点的水平面产生的假想照度 E_{ims}</p> <p>③计算各灯具的实际光源（其光通量为 Φ_N）在计算点的水平面上产生的照度：</p> <p>a. 利用灯具的空间等照度曲线时，按下式计算： $E_i = \frac{K\Phi_N E_{ims}}{1000\text{lm}}$</p> <p>b. 利用灯具的平面相对等照度曲线时，由于曲线是根据 $h = 1\text{m}$ 来绘制的，因此应按下式计算： $E_i = \frac{K\Phi_N E_{ims}}{1000\text{lm} \cdot h^2}$</p> <p>④求计算点由所有光源产生的总的水平照度： $E_T = \sum E_i$</p>

但只说明了

7

(续)

序号	项目	说明
4	点光源逐点计算法的计算步骤与方法	<p>⑤求各灯具光源在计算点的垂直照度:</p> $E_{i(\perp)} = E_i \frac{\rho}{h}$ <p>⑥求计算点由所有光源产生的总的垂直照度:</p> $E_{\Sigma(\perp)} = \Sigma E_{i(\perp)}$ <p>⑦求各灯具光源在计算点的某倾斜面(其倾斜角为δ,见图)上的照度:</p> $E_{i(\delta)} = E_i \left(\cos\delta \pm \frac{\rho}{h} \sin\delta \right)$ <p>当δ角位于第一象限时,上式右边第二项取“+”;当δ角位于第二象限时,上式右边第二项取“-”</p> <p>⑧求计算点由所有光源在某倾斜面(倾斜角为δ)上产生的总照度:</p> $E_{\Sigma(\delta)} = \Sigma E_{i(\delta)}$ <p>⑨检验是否符合照度标准</p>



主要参考文献

- 1 刘介才编. 工厂供电(第2版). 北京: 机械工业出版社, 1991
- 2 刘介才编著. 工厂供电500问答. 北京: 兵器工业出版社, 1994
- 3 刘介才主编. 工厂供电简明设计手册. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 4 俞丽华, 朱桐城编著. 电气照明. 上海: 同济大学出版社, 1990
- 5 机械工程手册, 电机工程手册编委会编. 电气工程师手册. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 6 赵振民主编. 照明工程设计手册. 天津: 天津科技出版社, 1984
- 7 刘介才编. 工业企业电气照明(讲义), 1963
- 8 国家标准 GB 50034—92 工业企业照明设计标准. 北京: 中国计划出版社, 1993
- 9 国家标准 GBJ 133—90 民用建筑照明设计标准. 北京: 中国计划出版社, 1991
- 10 行业标准 JBJ6—96 机械工厂电力设计规范. 北京: 机械工业出版社, 1997
- 11 行业标准 JGJ/T16—92 民用建筑电气设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1993

十一、电能节约与无功补偿 (ZY11)

(一) 有关电能节约和无功补偿的名词术语

有关电能节约和无功补偿的名词术语，如表 ZY11-1 所示。

表 ZY11-1 有关电能节约和无功补偿的名词术语

序号	名词术语	含义说明
1	能源管理 management of energy resource	指有关组织机构通过一套能源管理制度和法规，对地区或单位的能源使用和消耗进行管理和调控，以达到合理利用能源、节约能源的目的
2	“三电” “the three electricity”	指“计划用电、节约用电、安全用电”，这是能源管理中电能管理方面的三项主要内容
3	计划供用电 planned supply and consume (of electric power)	指供用电双方，按照当地电力系统的供电能力和电力用户的用电要求，本着统筹兼顾、保证重点的原则，协商制订供用电计划，按计划供电和用电
4	负荷调整 load regulation	指根据电力系统的供电能力和各类用户的不同用电规律，合理地、有计划地安排和组织各类用户的用电时间，以降低负荷高峰，填补负荷低谷，充分发挥发、变电设备的潜力，提高系统的供电能力，更好地满足国民经济对电力的需求
5	经济运行 economical operation	指能使电力系统的电能损耗减小、经济效益提高的一种运行方式。例如两台并列运行的变压器，在低负荷时切除一台以减小变压器损耗的运行方式
6	(电力变压器的) 经济负荷 economical load (of power transformation)	指对应于电力变压器损耗(包括其有功损耗和无功损耗所换算的等效有功损耗)为最小值的电力变压器负荷
7	自然功率因数 natural power factor	指电气设备不装设任何无功补偿设备(如电容器)时运行所呈现的功率因数，即此时的有功功率与视在功率的比值
8	无功补偿 reactive power compensation	为“无功功率人工补偿”的简称，指人为地装设补偿无功功率、提高系统功率因数的设备(如电容器等)的措施。这些补偿无功功率、提高功率因数的设备，即称为“无功补偿设备”
9	无功功率经济当量 reactive power economic equivalent	表征电力系统发送 1kvar 的无功功率而使电力系统相应增加的有功功率损耗(以 kW 为单位)。这是因为无功功率的存在，将使电流增大，从而使有功功率损耗增加。无功功率经济当量的符号用 K_q 表示，单位为“kW/kvar”(详见表 ZY11-3 序号 2)
10	最佳负荷率 optimum load factor	指电气设备(变压器、电动机等)损耗最小、效率最高时的负荷率(负荷功率与额定功率比值)

(二) 工厂电能节约的一般措施

工厂电能节约的一般措施，如表 ZY11-2 所示。其它企、事业单位也可参照采取相应的节电措施。

表 ZY11-2 工厂电能节约的一般措施

序号	项目	说明
1	加强工厂供用电系统的科学管理	
1.1	加强能源管理,建立和健全管理机构 and 制度	对于工厂的各种能源(包括电能),要进行统一管理。工厂不仅要建立精干的能源管理机构,形成完整的管理体系,而且要建立一套科学的能源管理制度。能源管理的基础是能耗定额管理。实行能耗定额管理,辅以节能奖励制度,能有效地推动节能工作的开展
1.2	实行计划供用电,提高能源利用率	实行计划供用电,不仅是缓解我国当前能源紧张状况的必要措施,也是促进我国国民经济全面发展的一项必须长期坚持的方针。工厂内部各级各部门都要加强用电管理,并通过计量,严格考核
1.3	实行负荷调整,降低负荷高峰,提高供电能力	实行负荷调整,主要就是“削峰填谷”(削减负荷高峰,填补负荷低谷)的工作。这是一项带全局性的工作,首先电力系统要作全局性的调荷。由于工业用电在整个电力系统中占的比重最大,因此电力系统调荷的主要对象是工业用户。厂休日互相错开及实行“峰谷分时电价”,都是电力系统的调荷措施。工厂企业内部也都应实行调荷。工厂的调荷措施有:①错开各车间的上下班时间、午休时间和进餐时间等,使各车间的高峰负荷分散,从而降低工厂总的负荷高峰;②调整厂内大容量设备的用电时间,使之避开高峰负荷时间用电;③调整各车间的生产班次和工作时间,实行高峰让电,等等。其它企业也可采取相应的调荷措施
1.4	实行经济运行方式,全面降低系统能耗	实行经济运行方式,降低电力系统的电能损耗,是节能的一项重要措施。负荷率长期偏低的电力变压器,宜换以较小容量。两台并列运行的电力变压器,在低负荷时也可考虑切除一台。对于负荷率长期偏低的电动机,也宜换以较小容量。但是负荷率具体低到多少才宜于“以小换大”或“以单代双”,就需通过计算和比较才能确定。电力变压器的经济运行负荷的计算参看表 ZY11-3
1.5	加强运行维护,提高检修质量	节电工作,与供用电系统的运行维护和检修质量有着密切的关系。例如通过检修电力变压器,使铁心过热的故障因素消除,即能降低铁损,节约电能。又如检修电动机,使转子与定子间气隙均匀或减小,或者减小转子的转动摩擦,也能降低电能损耗。再如将线路导线接头发热因素消除,不只保证了安全供电,而且电能损耗也得以减少。对于其它的动力设施,加强其维护保养,减少水、气、热等能源的跑、冒、滴、漏,也能直接节约电能。从广义节能的概念来说,所有节约原材料和保养生产设备的措施,乃至爱护一切物质财富的行动,都属于节电节能的范畴,因为一切物质财富,都需要能源才能创造出来。所以,要切实作好工厂的节电节能工作,单靠少数能源管理人员或电气技术人员是不行的,必须动员全厂职工重视和参与才行。只有人人重视节能,时时注意节能,处处做到节能,在全厂上下形成一种节电节能的新风尚,才能真正开创工厂节电、节能的新局面
2	搞好工厂供用电系统的技术改造	
2.1	逐步更新淘汰现有低效耗能设备	以高效率的电气设备取代低效率的电气设备,这是节电的一项基本措施。以电力变压器为例,采用冷轧硅钢片的新型低损耗电力变压器,其空载损耗只有采用热轧硅钢片的老型号变压器的50%左右。同时1000kV·A(10kV级)的电力变压器,采用冷轧硅钢片的SL7型变压器,空载损耗为1.8kW,而采用热轧硅钢片的SJL型变压器,空载损耗为3.9kW,如果用SL7型来替换SJL型,则一年在变压器空载损耗(铁损)方面就可节电 $(3.9-1.8) \text{ kW} \times 8760 \text{ h} = 18396 \text{ kW} \cdot \text{h}$,相当可观。又如电动机,新型Y系列电动机与老型号的JO2系列电动机相比,效率又提高0.413%。如果全国按年产量 $20 \times 10^6 \text{ kW}$ 计算,年工作时间考虑为4000h,则全国一年就可因此节电 $20 \times 10^6 \text{ kW} \times 4000 \text{ h} \times 0.413 / 100 \approx 3.3 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$,即3.3亿度

(续)

序号	项目	说明
2.2	改造现有耗能大的设备	对耗能大的电气设备进行技术改造,也是节电的一项有效措施。例如某机车厂一台1000kV·A的电力变压器,原采用热轧硅钢片铁心,空载损耗为6.5kW,后改用冷轧硅钢片铁心,空载损耗降为2.5kW,结果一年就节电 $(6.5-2.5)\text{kW}\times 8760\text{h}=35040\text{kW}\cdot\text{h}$ 。又如交流电焊机,加装无载自停装置后,平均每台一年即可节约有功电能1000kW·h,节约无功电能3500kvar·h,使功率因数也得到了改善。由此可见,技术改造可获得可观的经济效益,利用技术改造来节约电能,大有可为
2.3	改造现有供电系统,降低线路损耗	对现有不尽合理的供电系统进行技术改造,降低线损,也是节电的一项措施。例如将迂回配电的线路,改为直配线路;或将截面偏小的导线更换为截面稍大的导线;或将绝缘破损,漏电较大的导线予以换新;或在技术经济指标合理的条件下将配电网络升压运行;或者改造变电所所址,使之更加靠近负荷中心,等等,都能有效地降低线损,收到节电的效果
2.4	合理选择供用电设备的容量,或进行技术改造,提高设备负荷率	合理选择设备容量,发挥设备潜力,提高设备的负荷率和使用效率,也是节电的一项基本措施。例如合理选择电力变压器的容量,使之接近经济运行状态,是比较理想的。如变压器的负荷率长期偏低,则宜于换以较小容量的变压器,电动机等用电设备也一样。如果长期轻负荷运行的感应电动机,其定子绕组原为 Δ 接法,则可改为Y接法,这样每相绕组承受的电压降为原来每相绕组电压的 $1/\sqrt{3}$,从而使电动机的铁心损耗减小。但应注意,此时电动机转矩只有原来转矩的1/3。如果电动机所带负荷的生产工艺条件允许,还可以将绕线型电动机的转子改装为励磁绕组,使之同步运行,这可以大大改善功率因数,收到明显的节电效果
2.5	采用无功补偿设备,人工地提高功率因数	国家标准GB 3485—83《评价企业合理用电技术导则》规定:“企业应在提高自然功率因数的基础上,合理装置无功补偿设备,企业的功率因数应达到0.9以上” 提高自然功率因数,不添置任何无功补偿设备,最为经济合理,当然应予以优先考虑 但在提高自然功率因数的基础上尚达不到规定的功率因数要求时,就必须装设无功补偿设备。最常用的无功补偿设备为并联电容器。为了更好地补偿无功功率,应尽可能地就地补偿,以实现无功功率的就地平衡原则,减少线路的功率损耗和电压损耗,提高无功补偿的经济效果

(三) 供用电设备的电能节约

1. 电力变压器的电能节约 如表ZY11-3所示。

表ZY11-3 电力变压器的电能节约

序号	项目	说明
1	电力变压器节电的一般措施	<ul style="list-style-type: none"> ①选用新型低损耗(即节能型)的电力变压器,淘汰或改造老式电力变压器 ②合理选择电力变压器的容量 ③实行电力变压器的经济运行 ④加强电力变压器的运行维护和检修试验工作

(续)

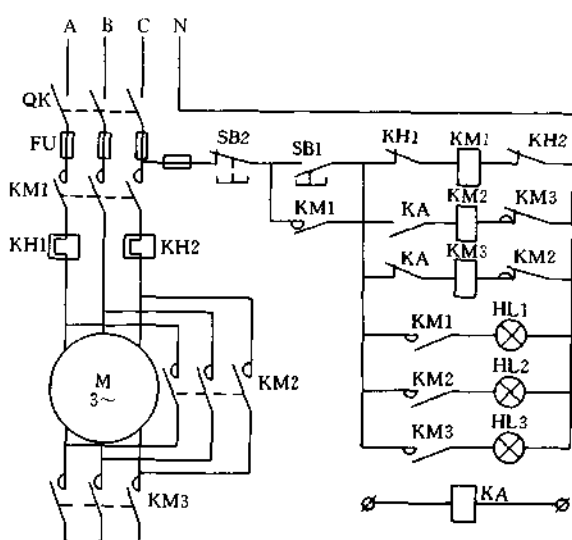
序号	项目	说明				
2	无功功率经济当量的概念	<p>为了计算电气设备的无功损耗在电力系统中引起的有功损耗增加量,故引入“无功功率经济当量”。其含义是系统发送 1kvar 的无功功率,相应地使系统增加有功功率损耗的 kW 数</p> <p>无功功率经济当量 K_q 值,与电力系统的容量、结构及计算点距离发电厂的远近等多种因素有关</p> <p>由发电机电压直配的用户,可取 $K_q=0.02\sim 0.04\text{kW/kvar}$</p> <p>由发电厂经两级变压供电的用户,可取 $K_q=0.05\sim 0.08\text{kW/kvar}$</p> <p>由发电厂经三级及以上变压供电的用户,可取 $K_q=0.1\sim 0.15\text{kW/kvar}$</p> <p>当用户具体位置不详时,可概略地取 $K_q=0.1\text{kW/kvar}$</p>				
3	一台变压器的经济负荷	<p>变压器运行的经济负荷,就是使变压器的有功损耗和无功损耗在电力系统中造成的有功损耗最小的负荷值。其中无功损耗在系统中造成的有功损耗是通过无功功率经济当量换算而得的</p> <p>一台变压器的经济负荷为</p> $S_{cr.T} = S_{N.T} \sqrt{\frac{\Delta P_0 + K_q \Delta Q_0}{\Delta P_k + K_q \Delta Q_N}}$ <p>式中, $S_{N.T}$ 为变压器额定容量; K_q 为无功功率经济当量; ΔP_0 为变压器的空载损耗, ΔP_k 为变压器的短路损耗; ΔQ_0 为变压器空载时无功损耗, $\Delta Q_0 \approx (I_0\%/100) \cdot S_{N.T}$, $I_0\%$ 为变压器空载电流占额定电流百分值; ΔQ_N 为变压器额定负荷时无功损耗, $\Delta Q_N \approx (U_k\%/100) \cdot S_{N.T}$, $U_k\%$ 为变压器的短路电压(阻抗电压)占额定电压百分值</p> <p>一般电力变压器的经济负荷为 50% 左右</p>				
4	多台变压器经济运行的临界负荷	<p>多台变压器经济运行的临界负荷,是变压器多一台运行与少一台运行在电力系统中造成的有功损耗正好相等的一个负荷值,如右图所示。这有功损耗既有由变压器有功损耗造成的,又有由变压器无功损耗(通过无功功率经济当量的变换)造成的</p> <p>判别 n 台运行与 $(n-1)$ 台运行有功损耗(含无功损耗换算值)最小的临界负荷为</p> $S_{cr} = S_{N.T} \sqrt{(n-1) n \frac{\Delta P_0 + K_q \Delta Q_0}{\Delta P_k + K_q \Delta Q_N}}$ <p>判别两台变压器经济运行的临界负荷为</p> $S_{cr} = S_{N.T} \sqrt{2 \times \frac{\Delta P_0 + K_q \Delta Q_0}{\Delta P_k + K_q \Delta Q_N}}$ <p>式中各符号含义参考序号 3</p> <div data-bbox="917 1444 1284 1780" style="text-align: center;"> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">$\Delta P_n > \Delta P_{n-1}$</td> <td style="text-align: center;">$\Delta P_n < \Delta P_{n-1}$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">宜 $n-1$ 台运行</td> <td style="text-align: center;">宜 n 台运行</td> </tr> </table> </div>	$\Delta P_n > \Delta P_{n-1}$	$\Delta P_n < \Delta P_{n-1}$	宜 $n-1$ 台运行	宜 n 台运行
$\Delta P_n > \Delta P_{n-1}$	$\Delta P_n < \Delta P_{n-1}$					
宜 $n-1$ 台运行	宜 n 台运行					

2. 电动机的电能节约 如表 ZY11-4 所示。

表 ZY11-4 电动机的电能节约

序号	项目	说 明																																
1	电动机节电的一般措施	①选用新型高效节能电动机, 淘汰或改造老式电动机 ②合理选择电动机的类型、容量和运行方式 ③采用先进的控制方式和控制设备 ④设法提高电动机的自然功率因数或进行无功补偿 ⑤加强电动机的运行维护和检修																																
2	选用高效节能电动机, 淘汰或改造老式电动机	国家标准 GB 50055—93《通用用电设备配电设计规范》规定: 通用用电设备(含电动机等)配电设计, 应采用符合现行的国家标准、行业标准的产品, 并应采用效率高、能耗低、性能先进的产品 国家推荐的部分新型电动机和部分淘汰产品如下表所示																																
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">推荐的节能产品</th> <th colspan="2">对应淘汰的老产品</th> </tr> <tr> <th>产品名称</th> <th>型号</th> <th>型号</th> <th>淘汰日期</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>三相异步电动机</td> <td>Y 系列</td> <td>JO2、JO3</td> <td>JO3, 1984 年 1 月 1 日 JO2, 1985 年 1 月 1 日</td> </tr> <tr> <td>分马力电机</td> <td>AO2、BO2、 CO2、DO2 系列</td> <td>AO、BO、CO、DO、 JW、JX、JY、JZ、 JLO、ZJCL、JE、 JLCE、ZLLOR、 JLOX</td> <td>1985 年 1 月 1 日~1986 年 1 月 1 日</td> </tr> <tr> <td>防护式绕线型三相异步电动机</td> <td>YR 系列 (IP23)</td> <td>JR、JR2、JR3</td> <td>1986 年 12 月 31 日</td> </tr> <tr> <td>封闭式绕线型三相异步电动机</td> <td>Y 系列 (IP44)</td> <td>JRO2</td> <td>1986 年 12 月 31 日</td> </tr> <tr> <td>隔爆型三相异步电动机</td> <td>YB 系列</td> <td>JB3、BJO2</td> <td>JB3, 1985 年 1 月 1 日 BJO2, 1986 年 1 月 1 日</td> </tr> <tr> <td>高效率三相异步电动机</td> <td>YX 系列</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table>	推荐的节能产品		对应淘汰的老产品		产品名称	型号	型号	淘汰日期	三相异步电动机	Y 系列	JO2、JO3	JO3, 1984 年 1 月 1 日 JO2, 1985 年 1 月 1 日	分马力电机	AO2、BO2、 CO2、DO2 系列	AO、BO、CO、DO、 JW、JX、JY、JZ、 JLO、ZJCL、JE、 JLCE、ZLLOR、 JLOX	1985 年 1 月 1 日~1986 年 1 月 1 日	防护式绕线型三相异步电动机	YR 系列 (IP23)	JR、JR2、JR3	1986 年 12 月 31 日	封闭式绕线型三相异步电动机	Y 系列 (IP44)	JRO2	1986 年 12 月 31 日	隔爆型三相异步电动机	YB 系列	JB3、BJO2	JB3, 1985 年 1 月 1 日 BJO2, 1986 年 1 月 1 日	高效率三相异步电动机	YX 系列	—	—
		推荐的节能产品		对应淘汰的老产品																														
		产品名称	型号	型号	淘汰日期																													
		三相异步电动机	Y 系列	JO2、JO3	JO3, 1984 年 1 月 1 日 JO2, 1985 年 1 月 1 日																													
		分马力电机	AO2、BO2、 CO2、DO2 系列	AO、BO、CO、DO、 JW、JX、JY、JZ、 JLO、ZJCL、JE、 JLCE、ZLLOR、 JLOX	1985 年 1 月 1 日~1986 年 1 月 1 日																													
		防护式绕线型三相异步电动机	YR 系列 (IP23)	JR、JR2、JR3	1986 年 12 月 31 日																													
		封闭式绕线型三相异步电动机	Y 系列 (IP44)	JRO2	1986 年 12 月 31 日																													
隔爆型三相异步电动机	YB 系列	JB3、BJO2	JB3, 1985 年 1 月 1 日 BJO2, 1986 年 1 月 1 日																															
高效率三相异步电动机	YX 系列	—	—																															
按 GB50055—93 规定, 电动机类型的选择应符合下列规定:																																		
①机械对起动、调速及制动无特殊要求时, 应采用笼型电动机; 但功率较大且连续工作的机械, 当在技术经济上合理时, 宜采用同步电动机																																		
②符合下列情况之一时, 宜采用绕线转子电动机:																																		
a. 重载起动的机械, 选用笼型电动机不能满足起动要求或加大功率不合理时																																		
b. 调速范围不大的机械, 且低速运行时间较短时																																		
③机械对起动、调速及制动有特殊要求时, 电动机类型及其调速方式应根据技术经济比较确定。在交流电动机不能满足机械要求的特性时, 宜采用直流电动机; 交流电源消失后必须工作的应急机组, 亦可采用直流电动机																																		
变负载运行的风机和泵类机械, 当技术经济上合理时, 应采用调速装置, 并应选用相应类型的电动机																																		
3	合理选择电动机的类型																																	

(续)

序号	项目	说明
4	合理选择电动机的容量(额定功率)	<p>按 GB 50055—93 规定,电动机额定功率的选择,应符合下列规定:</p> <p>①连续工作负载平稳的机械应采用最大连续定额的电动机,其额定功率应按机械的轴功率选择。当机械为重载启动时,笼型电动机和同步电动机的额定功率应按启动条件校验;对同步电动机,尚应校验其牵入转矩</p> <p>②短时工作的机械应采用短时定额的电动机,其额定功率应按机械的轴功率选择;当无合适规格的短时定额电动机时,可按允许过载转矩选用周期工作定额的电动机</p> <p>③断续周期工作的机械应采用相应的周期工作定额的电动机,其额定功率宜根据制造厂提供的不同负载持续率和不同启动次数下的允许输出功率来选择,亦可按典型周期的等值负载换算为额定负载持续率选择,并应按允许过载转矩校验</p> <p>④连续工作负载周期变化的机械应采用相应的周期工作定额电动机,其额定功率宜根据制造厂提供的数据选择,亦可按等值电流法或等值转矩法选择,并应按允许过载转矩校验</p> <p>⑤选择电动机额定功率时,根据机械的类型和重要性,应计入适当的储备系数</p> <p>⑥当电动机使用地点的海拔和冷却介质温度与规定的工作条件不同时,其额定功率应按制造厂的资料予以校正</p>
5	电动机重、轻载的△-Y自动切换运行	<p>①△-Y自动切换的电动机电路示例:</p>  <p>SB1~SB2—按钮 KH1~KH2—热继电器 KM1~KM3—接触器 KA—过负荷保护继电器 HL1~HL3—信号灯</p> <p>②工作原理:按下SB1,交流接触器KM1和KM3动作,电动机定子绕组接成Y形启动运行。如果是重载时,过载保护KA动作,使KM3断电,KM2动作,电动机定子绕组接成△形运行。如果电动机负载减少到一定程度时,KA返回,使KM2断电,KM3动作,又恢复Y接运行</p> <p>③电动机△-Y换接点的负荷率计算:</p> $\beta = \sqrt{\frac{0.67\Delta P_{Fe} + 0.81\Delta P_r [I_{0(\Delta)} / I_N]^2}{2\Delta P_r}}$ <p>式中, ΔP_{Fe} 为电动机额定铁损耗 (W); ΔP_r 为电动机额定绕组损耗与杂散损耗 (W); $I_{0(\Delta)}$ 为电动机△接线的空载线电流 (A); I_N 为电动机额定线电流 (A)</p>

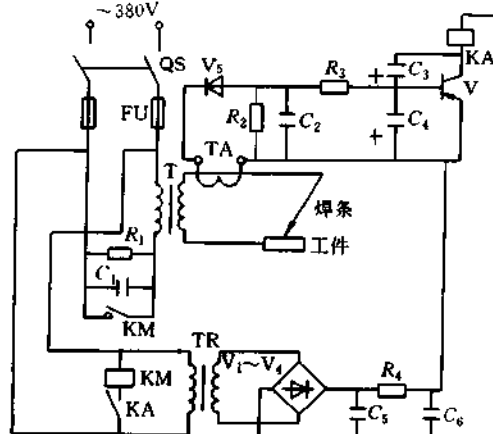
(续)

序号	项目	说明
6	异步电动机最佳负荷率计算	$\beta_{opt} \approx \sqrt{\frac{\Delta P_0}{\left(\frac{1}{\eta_N} - 1\right) P_N - \Delta P_0}}$ <p>式中, P_N 为电动机额定功率; ΔP_0 为电动机空载损耗; η_N 为电动机额定效率</p>
7	采用先进的控制方式和设备	<p>①交流电动机可采用电磁转差离合器、液力耦合器等调速以及晶闸管串级调速和变频调速等, 直流电动机可采用晶闸管-电动机组调速、晶闸管斩波器调速等, 均可获得相当好的节电效果</p> <p>②电动机的调速控制除了采用上述晶闸管等电力电子器件外, 现在也开始采用微型计算机。采用这类先进的控制方式和控制设备, 不仅调速方便, 精度高, 特性稳定, 而且节电效果更好</p>
8	设法提高电动机的功率因数	<p>①合理地选择电动机容量和调速方式, 均可获得较高的功率因数</p> <p>②长期轻载运行的Δ联结的电动机可改为Y联结, 使定子绕组电压降为原来电压的$1/\sqrt{3}$, 使电动机铁损减小, 功率因数提高</p> <p>③绕线型电动机同步化运行, 或采用同步电动机, 均可提高功率因数</p> <p>④提高检修质量, 减小空载损耗, 亦可提高功率因数, 节约电能</p>

3. 电焊机的电能节约 如表 ZY11-5 所示。

表 ZY11-5 电焊机的电能节约

序号	项目	说明
1	电焊机节能的一般措施	<p>按 GB 50055—93《通用用电设备配电设计规范》规定:</p> <p>①空载运行次数较多和空载持续时间超过 5min 的中小型电焊机, 可装设空载自停装置</p> <p>②连接多台电焊机且无功功率较大的线路上, 宜装设电力电容器进行补偿</p>
2	交流电焊机空载自停装置	<p>①交流电焊机空载自停装置原理电路示例如右图所示</p> <p>②工作原理简介: 当电焊条焊接工件时, TA 二次侧感应 1~3V 电压, 经 V5 整流加在三极管 V 的基极, 使它导通, 继电器 KA 动作, 其触点闭合, 使接触器 KM 动作, 使电焊保持运行</p> <p>当电焊条脱离工件时, 电焊机 T 二次侧断电, TA 二次侧无感应电压, 但由于 C₃、C₄ 放电, 故保持 V 导通。如果在延时时间内再焊接, TA 的感应电压继续供给 V 的基极电流, KA 和 KM 均不致返回, 使电焊机继续运行。如果空载时间超过整定的延时时间, 则 C₃、C₄ 放电完毕, V 的基极无电流而不导通, 使 KA、KM 失电返回, 电焊机 T 自动断电</p>



T—电焊机 (电焊变压器) TR—整流变压器
TA—电流互感器

4. 电热设备的电能节约 如表 ZY11-6 所示。

表 ZY11-6 电热设备的电能节约

序号	项目	说明
1	电热设备节能的一般措施	①正确选择加热能源, 尽可能采用更经济合理的一次能源 ②尽可能减少炉体的热损耗 ③改善电热元件发热材料 ④改造短网结构 ⑤改进操作工艺 ⑥功率因数较低时, 采用无功补偿
2	尽可能减少炉体的热损耗	炉体的热损耗一般为 20%~35%, 是电热设备中最大的一项热损耗。炉体的热损耗包括炉衬的蓄热损耗和炉壁的散热损耗, 采用硅酸铝纤维(又称“陶瓷纤维”)等新型保温耐火材料, 可大量节约电能
3	改善电热元件的发热材料	电热元件的发热性能好坏直接影响其加热效果。过去低温电阻炉采用电阻发热元件, 其加热主要靠热对流, 加热时间长, 电能损耗大。近年来, 低温电阻炉普遍采用了远红外线加热器或远红外线涂料, 使电阻发热元件的热辐射明显加强, 节电可达 30%以上
4	改善电炉的短网结构	电弧炉、矿热炉等从电炉变压器的低压端至电炉电极的一段低压导体称为“电炉的短网”。短网长度一般只有 10m 左右, 但由于在运行时它通过的电流很大, 因此其功率损耗相当可观, 约占电炉总消耗功率的 10%以上。要减少短网电能损耗, 一是设法减小短网电阻, 二是设法减小通过短网的电流, 三是设法减少短网周围的铁磁物质, 最大限度降低铁磁损耗。减小短网电阻的措施有: 尽量缩短短网长度; 尽量减小短网中的接触电阻; 采用水冷式短网, 降低短网温度以减小其电阻(导体的电阻是随着温度降低而减小的)
5	改进操作工艺	①尽可能连续作业, 其热效率比间歇作业高约 10%左右 ②在加热过程中要保持额定工作电压, 电压下降时, 炉温下降, 加热时间长, 耗电增加 ③改善工艺流程, 如缩短加热时间, 利用铸、锻的余热进行热处理, 将整体淬火改为局部淬火等, 均能取得很好的节电效果
6	采用无功补偿装置提高功率因数	GB 50056—93《电热设备电力装置设计规范》规定: ①单台功率等于或大于 400kW 的电热装置, 当其自然功率因数较低时, 应装设单独的无功功率补偿装置。如经技术经济比较, 采用集中补偿有利时, 或当工厂、车间无功功率富裕时, 可不装设单独的补偿装置 ②电热装置的无功功率补偿装置采用电力电容器时, 其性能的选择和接线方式应计入无功负荷的变化和高次谐波的影响

5. 电气照明的电能节约 如表 ZY11-7 所示。

表 ZY11-7 电气照明的电能节约

序号	项目	说明
1	基本原则	电气照明节能的基本原则, 是保证不降低作业的视觉要求, 最有效地利用照明用电 (GB50034—92)

(续)

序号	项 目	说 明
2	合理选择光源	<p>①一般房间宜优先采用荧光灯。在显色性要求较高的场所宜采用三基色荧光灯、稀土节能荧光灯、小功率高显钠灯等高效光源</p> <p>②高大房间和室外场所的一般照明宜采用金属卤化物灯、高压钠灯等高强度气体放电光源及其混光光源</p> <p>③当需要使用热辐射光源时，宜选用双螺旋白炽灯或小功率高效卤钨灯</p>
3	合理选择灯具	<p>①除有装饰需要外，应优先选用直射光通量比高和控光性能合理的高效灯具：</p> <p>a. 室内用灯具效率不宜低于 70%（装有遮光格栅时低于 55%），室外用灯具效率不应低于 40%，但室外投光灯灯具的效率不宜低于 55%</p> <p>b. 根据使用场所不同，采用控光合理的灯具，如多平面反光镜定向射灯、蝙蝠翼式配光灯具、块板式高效灯具等</p> <p>c. 装有遮光格栅的荧光灯灯具，宜采用与灯管轴线相垂直排列的单向格栅</p> <p>d. 在符合照明质量要求的原則下，选用光通利用系数高的灯具</p> <p>e. 选用控光器变质速度慢、配光特性稳定、反射比或透射比高的灯具</p> <p>②灯具的结构和材质应易于维护清洁和更换光源</p> <p>③采用功率损耗小、性能稳定的灯用附件</p> <p>a. 直管形荧光灯使用电感式镇流器时能耗不应高于灯的额定功率的 20%，高强度气体放电灯的电感式触发器功耗不应高于灯的额定功率的 15%</p> <p>b. 高强度气体放电灯宜采用电子触发器</p>
4	选择合适的照明方案	<p>①要求照度标准值较高的场所，可增设局部照明</p> <p>②在同一照明房间内，当工作区的某一部分或几个部分需要高照度时，可采用分区一般照明方式</p> <p>③照明与室内装修设计应有机结合，避免片面追求形式和不适当选取照度标准以及照明方式，在不降低照明质量的前提下，应有效控制单位面积的安装功率</p> <p>④在有集中空调而且照明容量大的场所，宜采用照明灯具与空调回风口结合的形式</p> <p>⑤在民用建筑中，条件允许时，可采用照明灯具与家具组合的照明形式</p> <p>⑥室内顶棚、墙面和地面宜采用浅颜色、高反射比的装饰材料</p> <p>⑦对于气体放电光源，宜采取分散进行无功补偿，功率因数不应低于 0.85</p>
5	对照明线路、开关、控制及计量的要求	<p>①室内照明线路宜分细，多设开关，位置适当</p> <p>②近窗的灯具宜单设开关，充分利用天然光</p> <p>③采用各种类型的节电开关和管理措施，如定时开关、调光开关、光电自动控制器、节电控制器、限电器及照明自动管理系统等</p> <p>④公共场所照明、室外照明，可采用集中遥控管理的方式或采用自动控光装置</p> <p>⑤凡使用电气照明的单位、宿舍、住宅等，均应单独计量其照明用电量</p>

(四) 无功功率的人工补偿

1. 无功补偿要求和无功补偿设备 如表 ZY11-8 所示。

表 ZY11-8 无功补偿要求和无功补偿设备

序号	项目	说明
1	无功补偿要求	水利电力部 1983 年颁布的《全国供用电规则》规定：“用户在当地供电局规定的电网高峰负荷时的功率因数应达到下列要求：高压供电的工业用户和高压供电装有带负荷调整电压装置的电力用户，功率因数为 0.90 以上；其它功率因数为 0.85 以上。”凡功率因数未达到上述规定时，应装设无功补偿设备
2	无功补偿设备	<p>①稳态无功功率的无功补偿设备主要有同步补偿机和并联电容器</p> <p>a. 同步补偿机是一种专门用来改善功率因数的空载运行的同步电动机，通过调节其励磁电流可以起到补偿电网无功功率的作用。它通常在大电网和大变电所中作为调压和改善功率因数之用</p> <p>b. 并联电容器是一种用来改善功率因数的电力电容器。它与同步补偿机相比，因无旋转部分，具有安装简单、运行维护方便、有功损耗小以及组装灵活、扩容方便等优点，因此并联电容器应用最为普遍。但是它损坏后不便修复以及从电网中切除后有危险的残余电压等缺点（注：电容器从电网中切除后的残余电压可通过放电来消除。而一种金属化全膜低压电容器具有“自愈”性能，当它被电击穿时，击穿电流使击穿点周围的金属层蒸发，介质迅速恢复绝缘性能。）</p> <p>②动态无功功率的无功补偿设备：用于急剧变动的冲击负荷如炼钢电弧炉、轧钢机等无功补偿，采用的无功补偿设备为“静止型无功功率自动补偿装置”，简称“静补装置”（static var compensator，缩写为“SVC”）。它具有响应快（可小于 10ms）、平滑调节性能好、补偿效率高、维修方便及谐波、噪声、损耗均小等优点，因此得到越来越广泛的应用。静补装置有多种类型，而以自饱和电抗器型（SR 型）的效能最好，其电子元件少，可靠性高，维护方便，且我国一般变压器厂均能制造，因此是一种最适于在我国推广应用的 SVC</p>

2. 并联电容器组的结线和装设位置 如表 ZY11-9 所示。

表 ZY11-9 并联电容器组的结线和装设位置

序号	项目	说明
1	并联电容器组的结线	
1.1	结线要求	<p>①低压电容器组一般采用三角形结线</p> <p>②高压电容器组宜采用星形结线。在中性点非直接接地电网中，星形结线电容器组的中性点不应接地</p>
1.2	电容器组接成三角形和星形的比较	<p>①电容器组接成三角形的容量 $Q_{C(\Delta)}$ 为接成星形的容量 $Q_{C(Y)}$ 的 3 倍。因此当电容器额定电压与电网额定电压基本相同时，宜接成三角形。但采用三角形结线的电容器在一相电容器击穿短路时，即造成电网两相短路，短路电流很大，有可能引起电容器爆炸，使事故扩大，这对高压电容器特别危险</p> <p>②电容器组接成星形的容量 $Q_{C(Y)}$ 为接成三角形的容量 $Q_{C(\Delta)}$ 的 1/3 倍。接成星形的电容器额定电压宜为电网额定电压的 $1/\sqrt{3}$。采用星形结线的电容器在一相电容器击穿短路时，其短路电流仅为正常工作电流的 3 倍，因此安全多了</p>
2	并联电容器组的装设位置（补偿方式）	

(续)

序号	项目	说明
2.1	电容器组的三种装设地点及其补偿效果示意图	
2.2	<p>高压集中补偿</p> <p>原理接线</p>	
	特点及适用范围	<p>①初投资较少, 运行维护方便, 但只能补偿高压母线以前的无功功率</p> <p>②适于大、中型企业变配电所作高压无功功率的补偿</p>
2.3	<p>低压集中补偿</p> <p>原理接线</p>	
	特点及适用范围	<p>①能补偿低压母线以前的无功功率, 可使变压器的无功功率得到补偿, 从而有可能选用较小容量的变压器, 且运行维护也较方便</p> <p>②适于中、小型企业变电所及所有车间变电所作低压侧基本无功功率的补偿</p>

(续)

序号	项目	说明
2.4	单独就地补偿	
	特点及适用范围	<p>①补偿范围最大, 补偿效果最好, 可缩小配电路径截面, 减少有色金属消耗量, 但电容器的利用率往往不高, 且初投资和维护费用较大</p> <p>②适于负荷相当平稳且长时间运行的大容量用电设备及某些容量很小但数量多而分散的用电设备 (如荧光灯)</p>

3. 并联电容器组的选择计算 如表 ZY11-10 所示。

表 ZY11-10 并联电容器组的选择计算

序号	项目	说明																																																																																																																																																								
1	并联电容器组补偿容量计算	$Q_C = P_{30} (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) = \Delta q_c P_{30}$ <p>式中, P_{30} 为补偿地点的有功计算负荷 (kW); $\tan\varphi_1$ 为对应于补偿前最大计算负荷时功率因数角 φ_1 的正切值; $\tan\varphi_2$ 为对应于要求补偿到的功率因数角 φ_2 的正切值; $\Delta q_c = \tan\varphi_1 - \tan\varphi_2$ 称为无功补偿率 (参看附表)</p> <p style="text-align: center;">附表 无功补偿率 (kvar/kW)</p>																																																																																																																																																								
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">补偿前功率因数 $\cos\varphi_1$</th> <th colspan="8">补偿后功率因数 $\cos\varphi_2$</th> </tr> <tr> <th>0.85</th> <th>0.88</th> <th>0.90</th> <th>0.91</th> <th>0.92</th> <th>0.93</th> <th>0.95</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.50</td><td>1.112</td><td>1.192</td><td>1.248</td><td>1.276</td><td>1.306</td><td>1.337</td><td>1.403</td></tr> <tr><td>0.52</td><td>1.022</td><td>1.103</td><td>1.158</td><td>1.187</td><td>1.217</td><td>1.248</td><td>1.314</td></tr> <tr><td>0.55</td><td>0.899</td><td>0.979</td><td>1.034</td><td>1.063</td><td>1.092</td><td>1.123</td><td>1.190</td></tr> <tr><td>0.58</td><td>0.785</td><td>0.865</td><td>0.920</td><td>0.949</td><td>0.979</td><td>1.009</td><td>1.076</td></tr> <tr><td>0.60</td><td>0.714</td><td>0.794</td><td>0.849</td><td>0.878</td><td>0.907</td><td>0.938</td><td>1.005</td></tr> <tr><td>0.62</td><td>0.646</td><td>0.726</td><td>0.781</td><td>0.810</td><td>0.839</td><td>0.870</td><td>0.937</td></tr> <tr><td>0.64</td><td>0.581</td><td>0.661</td><td>0.716</td><td>0.745</td><td>0.775</td><td>0.805</td><td>0.872</td></tr> <tr><td>0.66</td><td>0.519</td><td>0.599</td><td>0.654</td><td>0.683</td><td>0.712</td><td>0.743</td><td>0.810</td></tr> <tr><td>0.68</td><td>0.459</td><td>0.539</td><td>0.594</td><td>0.623</td><td>0.652</td><td>0.683</td><td>0.750</td></tr> <tr><td>0.70</td><td>0.400</td><td>0.480</td><td>0.536</td><td>0.565</td><td>0.594</td><td>0.625</td><td>0.692</td></tr> <tr><td>0.72</td><td>0.344</td><td>0.424</td><td>0.480</td><td>0.508</td><td>0.538</td><td>0.569</td><td>0.635</td></tr> <tr><td>0.74</td><td>0.289</td><td>0.369</td><td>0.425</td><td>0.453</td><td>0.483</td><td>0.514</td><td>0.580</td></tr> <tr><td>0.76</td><td>0.235</td><td>0.315</td><td>0.371</td><td>0.400</td><td>0.429</td><td>0.460</td><td>0.526</td></tr> <tr><td>0.78</td><td>0.183</td><td>0.263</td><td>0.318</td><td>0.347</td><td>0.376</td><td>0.407</td><td>0.474</td></tr> <tr><td>0.80</td><td>0.130</td><td>0.210</td><td>0.266</td><td>0.294</td><td>0.324</td><td>0.355</td><td>0.421</td></tr> <tr><td>0.82</td><td>0.078</td><td>0.158</td><td>0.214</td><td>0.242</td><td>0.272</td><td>0.303</td><td>0.369</td></tr> <tr><td>0.85</td><td>—</td><td>0.080</td><td>0.135</td><td>0.164</td><td>0.194</td><td>0.225</td><td>0.291</td></tr> </tbody> </table>	补偿前功率因数 $\cos\varphi_1$	补偿后功率因数 $\cos\varphi_2$								0.85	0.88	0.90	0.91	0.92	0.93	0.95	0.50	1.112	1.192	1.248	1.276	1.306	1.337	1.403	0.52	1.022	1.103	1.158	1.187	1.217	1.248	1.314	0.55	0.899	0.979	1.034	1.063	1.092	1.123	1.190	0.58	0.785	0.865	0.920	0.949	0.979	1.009	1.076	0.60	0.714	0.794	0.849	0.878	0.907	0.938	1.005	0.62	0.646	0.726	0.781	0.810	0.839	0.870	0.937	0.64	0.581	0.661	0.716	0.745	0.775	0.805	0.872	0.66	0.519	0.599	0.654	0.683	0.712	0.743	0.810	0.68	0.459	0.539	0.594	0.623	0.652	0.683	0.750	0.70	0.400	0.480	0.536	0.565	0.594	0.625	0.692	0.72	0.344	0.424	0.480	0.508	0.538	0.569	0.635	0.74	0.289	0.369	0.425	0.453	0.483	0.514	0.580	0.76	0.235	0.315	0.371	0.400	0.429	0.460	0.526	0.78	0.183	0.263	0.318	0.347	0.376	0.407	0.474	0.80	0.130	0.210	0.266	0.294	0.324	0.355	0.421	0.82	0.078	0.158	0.214	0.242	0.272	0.303	0.369	0.85	—	0.080	0.135	0.164	0.194	0.225	0.291
		补偿前功率因数 $\cos\varphi_1$		补偿后功率因数 $\cos\varphi_2$																																																																																																																																																						
			0.85	0.88	0.90	0.91	0.92	0.93	0.95																																																																																																																																																	
		0.50	1.112	1.192	1.248	1.276	1.306	1.337	1.403																																																																																																																																																	
		0.52	1.022	1.103	1.158	1.187	1.217	1.248	1.314																																																																																																																																																	
		0.55	0.899	0.979	1.034	1.063	1.092	1.123	1.190																																																																																																																																																	
		0.58	0.785	0.865	0.920	0.949	0.979	1.009	1.076																																																																																																																																																	
		0.60	0.714	0.794	0.849	0.878	0.907	0.938	1.005																																																																																																																																																	
		0.62	0.646	0.726	0.781	0.810	0.839	0.870	0.937																																																																																																																																																	
		0.64	0.581	0.661	0.716	0.745	0.775	0.805	0.872																																																																																																																																																	
		0.66	0.519	0.599	0.654	0.683	0.712	0.743	0.810																																																																																																																																																	
0.68	0.459	0.539	0.594	0.623	0.652	0.683	0.750																																																																																																																																																			
0.70	0.400	0.480	0.536	0.565	0.594	0.625	0.692																																																																																																																																																			
0.72	0.344	0.424	0.480	0.508	0.538	0.569	0.635																																																																																																																																																			
0.74	0.289	0.369	0.425	0.453	0.483	0.514	0.580																																																																																																																																																			
0.76	0.235	0.315	0.371	0.400	0.429	0.460	0.526																																																																																																																																																			
0.78	0.183	0.263	0.318	0.347	0.376	0.407	0.474																																																																																																																																																			
0.80	0.130	0.210	0.266	0.294	0.324	0.355	0.421																																																																																																																																																			
0.82	0.078	0.158	0.214	0.242	0.272	0.303	0.369																																																																																																																																																			
0.85	—	0.080	0.135	0.164	0.194	0.225	0.291																																																																																																																																																			

(续)

序号	项目	说明				
2	电容器台数的计算	$n = \frac{Q_c}{q_c}$ <p>式中, Q_c 为电容器组总的补偿容量 (kvar); q_c 为所选电容器单台容量 (kvar); n 为电容器台数, 对单相电容器, n 应为 3 的整数倍</p>				
3	GR-1 型高压电容器柜的选择	方案号	结线图	用途	主要参数	选择步骤 ①根据所需无功补偿容量选择一台或数台 01 号或 02 号电容器柜 ②根据进线方案选择一台 03 号或 04 号放电互感器柜
		01		电容器柜	电容器为 BW6.3-1 或 BW10.5-1 型, 结线图均只绘出三角形 (或星形) 联结的一个边	
		02		电容器柜		
		03		放电互感器柜	互感器为 JSJB 或 JDZJ 型, 三线圈电压比为 $6/\sqrt{3} : 0.1/\sqrt{3} : 0.1/\sqrt{3}$ 或 $10/\sqrt{3} : 0.1/\sqrt{3} : 0.1/3$	
04		放电互感器柜				
4	PGJ1 型低压无功功率自动补偿屏的选择	1		主屏	电容器为 BW0.4-14-3 型, 每屏 6 个, 84kvar; 采用 6 步控制, 每步投入 14kvar	①根据控制步数要求, 选择一台 1 号或 2 号主屏 ②根据所需无功补偿容量再补充一台或数台 3 号或 4 号辅屏
		3		辅屏		
		3		辅屏		
		2		主屏	电容器为 BW0.4-14-3 型, 每屏 8 个, 112kvar; 采用 8 步控制, 每步投入 14kvar	
		4		辅屏		
		4		辅屏		

(续)

序号	项目	说明
5	关于电容器装置开关设备、导体及其它附属装置的选择要求 (据 GB50053—94)	<p>① 电容器装置的开关设备及导体等载流部分的长期允许电流, 不应小于电容器额定电流的 1.5 倍</p> <p>② 电容器组应装设放电装置, 使电容器组两端的电压从峰值 ($\sqrt{2}$ 倍额定电压) 降至 50V 所需的时间, 高压电容器不应大于 5min, 低压电容器不应大于 1min</p> <p>③ 单台高压电容器应设置专用熔断器作为电容器内部故障保护, 熔丝额定电流宜为电容器额定电流的 1.5~2 倍</p> <p>④ 当电容器装置附近有高次谐波含量超过规定允许值时, 应在回路中设置抑制谐波的串联电抗器</p>

主要参考文献

- 1 刘介才编. 工厂供电 (第 2 版). 北京: 机械工业出版社, 1991
- 2 刘介才主编. 工厂供电. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 3 刘介才主编. 工厂供电简明设计手册. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 4 刘介才编著. 工厂供电 500 问答. 北京: 兵器工业出版社, 1994
- 5 李宗纲主编. 节能技术. 北京: 兵器工业出版社, 1991
- 6 国家标准 GB 50053—94 10kV 及以下变电所设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1994
- 7 国家标准 GB 50055—93 通用用电设备配电设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1994
- 8 国家标准 GB 50056—93 电热设备电力装置设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1994
- 9 国家标准 GB 50227—95 并联电容器装置设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1996
- 10 行业标准 JGJ/T16—92 民用建筑电气设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1993
- 11 行业标准 JBJ6—96 机械工厂电力设计规范. 北京: 机械工业出版社, 1997

十二、供电工程设计 (ZY12)

(一) 有关供电工程设计的名词术语

有关供电工程设计的名词术语, 如表 ZY12-1 所示。

表 ZY12-1 有关供电工程设计的名词术语

序号	名词术语	含义说明
1	工程设计 engineering design	指工程建设之前, 按照工程建设的任务要求, 依据国家或行业的有关标准和规范, 结合实际制订实施方案和绘制技术图样等的行为
2	供电工程设计 engineering design for power supply	指为供电工程的建设而进行的设计, 包括变配电所设计和供配电线路设计, 通常将电气照明设计也包括在内。简称“供电设计”
3	设计说明书 design directions	指用以说明工程设计项目名称、任务、依据、设计计算和设计方案的书面文件, 供上级审批及下一阶段设计或施工使用
4	设计图样 drawing of design	指用以说明工程设计方案 and 要求的图样。任何工程设计, 最终都体现在设计图样上。图样被称为工程技术界的通用语言。设计单位用图样表达设计要求, 生产单位用图样指导加工制造, 施工单位用图样指导施工安装
6	方案设计 plan design	指大型工程项目在正式设计之前, 在可行性研究阶段所进行的主要方案的设想, 该设想是根据主客观条件和技术经济分析提出的, 供上级主管部门下达设计任务作依据或参考
6	可行性研究 feasibility research	指对某项拟建工程的建设在技术上能否办到、在经济上是否合理的一项分析, 通常在分析之后要写出“可行性研究报告”, 供上级主管部门决策之用
7	初步设计 preliminary design	指根据上级下达的设计任务所进行的用以表现整个工程概貌和估算工程投资的一种设计
8	技术设计 technical design	指在初步设计批准之后, 在初步设计基础上进行的较为深入细致的一种设计。此设计要求内容全面, 计算准确, 写出详细的设计说明书, 绘出表达设计方案的设计图样, 但这些设计说明书和图样也只供上级审批用, 而不是供施工用。现在大多数工程设计是将初步设计与技术设计合并为“扩大初步设计”, 或称“初步设计”
9	施工(图)设计 construction (drawing) design	指在初步设计(或初步扩大设计、技术设计)批准之后, 在此基础上进行的目的在于施工建设使用的一种设计。施工设计重点在于绘制施工图样, 并写出必要的说明, 编制工程预算和设备材料明细表
10	工程概算 budgetary estimate of engineering project	指初步设计阶段对工程投资的一种初步估算。工程概算比较概略, 供上级主管部门审批工程项目控制计划投资之用

(续)

序号	名词术语	含义说明
11	工程预算 budget of engineering project	指施工(图)设计阶段对工程投资的一种比较精确的计算。工程预算供主管部门审批工程项目的具体投资额和安排施工计划之用
12	供电贴费 capital contribution of power supkly	指新增用户所必须向电力供应部门缴纳(分担)的厂外供电工程建设费用,这是解决公用电网建设资金的渠道之一。只有缴清供电贴费后,才能从电业部门取得有效的供电方案,正式开始工厂供电设计

(二) 供电设计的范围与内容

供电设计的范围与内容,如表 ZY12-2 所示。

表 ZY12-2 供电设计的范围与内容

序号	项目	说明
1	供电设计的范围	设计范围依设计任务或设计项目而定。例如工厂总降压变电所的设计,其设计范围为从总降压变电所电源进线与公共电网的接电点起,直到其降压后高压配出线路止。车间变电所的设计范围,为从高压进线起到低压配出线路止。厂区高压配电路的设计范围,为从总降低变电所或高压配电所的配电开关柜出口起到各车间变电所和高压用电设备进线端止。车间动力线路的设计范围,为从车间变电所低压出线起或车间动力线路的进户线起到车间内各动力用电设备的电源端止。设计的具体范围应向有关方面了解清楚,或与有关方面协商确定
2	供电设计的内容	
2.1	变配电所电气设计	<ul style="list-style-type: none"> ① 负荷计算及无功补偿计算 ② 变电所主变压器台数和容量的确定(配电所设计不含此项) ③ 变配电所主结线方案的选择 ④ 变配电所所址的选择 ⑤ 变配电所进出线的选择 ⑥ 短路计算及开关设备的选择 ⑦ 二次回路方案的确定及继电保护的选择与整定 ⑧ 防雷保护与接地装置的设计 ⑨ 变配电所的照明设计 ⑩ 编写设计说明书 ⑪ 绘制有关设计图样 ⑫ 编制设备材料清单及工程概(预)算
2.2	厂区配电路设计	<ul style="list-style-type: none"> ① 厂区配电路布线方案的初步确定 ② 负荷计算 ③ 导线或电缆的选择 ④ 杆位的确定及电杆、绝缘子和金具等的选择(对架空线路),或电缆沟道的设计(对电缆线路) ⑤ 防雷保护和接地装置的设计 ⑥ 编写设计说明书 ⑦ 绘制有关设计图样 ⑧ 编制设备材料清单及工程概(预)算

(续)

序号	项目	说明
2.3	车间动力配电线路设计 (简称“车间动力设计”或“车间电力设计”)	①车间动力配电方案的初步确定 ②负荷计算及进线设计 ③导线或电缆及有关配件的选择 ④配电设备和保护设备的选择 ⑤线路敷设方案的设计 ⑥编写设计说明书 ⑦绘制有关设计图样 ⑧编制设备材料清单及工程概 (预) 算
2.4	电气照明设计	①照明光源和灯具型式的选择 ②灯具布置方案的确定及照度的计算 ③照明线路导线的选择 ④控制与保护设备的选择 ⑤线路敷设方案的设计 ⑥编制设计说明书 ⑦绘制有关设计图样 ⑧编制设备材料清单和工程概 (预) 算

(三) 供电设计的程序与方法步骤

1. 供电设计阶段的划分 如表 ZY12-3 所示。

表 ZY12-3 供电设计阶段的划分

序号	项目	阶段划分
1	大型供电设计	①方案设计阶段 ②初步设计阶段 ③施工 (图) 设计阶段
2	大中型供电设计	①初步设计阶段 ②技术设计阶段 ③施工 (图) 设计阶段
3	中小型供电设计	①初步 (或扩大初步) 设计阶段 ②施工 (图) 设计阶段
4	某些小型供电设计	如工程规模小, 设计任务紧迫, 经技术论证许可时, 可直接进行施工 (图) 设计

2. 工厂供电系统设计的阶段、程序和内容 如表 ZY12-4 所示。

000

但只一名称于册

表 ZY12-4 工厂供电系统设计的阶段、程序和内容

序号	设计阶段	设计程序和内容
1	初步设计	<ul style="list-style-type: none"> ①收集设计所需的原始资料 ②计算工厂的最大用电容量和电能需要量 ③与当地供电部门签订供用电协议 ④确定工厂供电系统方案 ⑤选择工厂供电系统的主要电气设备及线路器材 ⑥绘制设计图样, 包括总体布置图和主结线图 ⑦编制设计说明书 ⑧编制主要设备材料清单及工程概算
2	施工(图)设计	<ul style="list-style-type: none"> ①依据批准的初步设计文件(包括审批中的修改意见和建设单位的补充要求)进行更深入具体的设计计算, 可对初步设计进行必要的修正 ②着重绘制施工图样, 包括变配电所一、二次系统电路图, 变配电所平、剖面图, 有关设备的安装图, 某些部件的制作安装图, 防雷装置和接地装置的布置和安装图等 ③编制设备材料明细表 ④编制工程总预算, 必要时编写施工说明书

3. 供电设计必需的基础资料 如表 ZY12-5 所示。

表 ZY12-5 供电设计必需的基础资料

序号	项目	说明
1	用户与供电(电业)部门协商获取的资料	<ul style="list-style-type: none"> ①供电电源的位置、距离、路径及电源电压、供电方式(专线或公用干线、架空线或电缆)等 ②电力系统在最大运行方式和最小运行方式时供电端的短路参数 ③供电部门对用户功率因数及高次谐波的限量要求 ④供电部门对用户电能计量方式的要求及收费办法 ⑤用户范围外的电源线路设计施工方案及维护责任和费用承担问题(含供电贴费) ⑥用户总降压变电所或配电所的继电保护装置方式及整定要求 ⑦供电部门的其它特殊要求, 如转供电能、调整负荷及防火要求等 ⑧签订供用电协议
2	向当地气象、地质部门了解的资料	<ul style="list-style-type: none"> ①最高年平均温度, 用于选电力变压器 ②最热月平均最高温度, 用于选室外裸导线和母线 ③最热月平均温度, 用于选室内导线和母线 ④全年中连续三次的最热日昼夜平均温度, 用于选空气中电缆 ⑤当地土壤中 0.7~1.0m 深处全年中最热月平均温度, 用于选地下电缆 ⑥年平均雷暴日数, 用于选防雷装置 ⑦50 年一遇的最高洪水位, 用于选变配电所所址 ⑧当地土壤电阻率, 用于选接地装置 ⑨当地土壤结冰深度, 用于选接地装置 ⑩当地主要风向, 用于选变配电所的所址 ⑪当地最大风速和最大覆冰厚度, 用于选架空导线和杆塔 ⑫地下水位, 用于变配电所土建及电缆沟等设计参考

(续)

序号	项目	说明
3	用户内部的资料	①用户(工厂、单位)的总平面图 ②各用电点(车间变电所、动力负荷中心)的位置和容量 ③用户全年计划用电量或产量 ④全部用电设备的电压、容量、性质及对电源的要求 ⑤用户的发展规划及5年的用电增长情况等

4. 供电设计与其它专业设计之间的配合 如表 ZY12-6 所示。

表 ZY12-6 供电设计与其它专业之间的配合

序号	项目	说明
1	与建筑专业的配合	①向建筑专业提出设计条件,包括各种电气设备用房的位置、面积、层高及其它要求,如电缆沟、电气管道井等 ②建筑专业应向供电专业提供有关建筑平面图、剖面图及有关要求,如建筑尺寸均应为300mm的整数倍,供电设计人员设计用房时应予注意等
2	与给排水和暖通专业的配合	①给排水和暖通专业应向供电专业提供各用电设备的型号、容量、数量及在建筑平面图上的位置,并尽可能提供设备样本 ②供电专业应向暖通专业提出设计条件,主要有:空调机房和冷冻机房内的电气控制柜需要的位置,空调房间内的用电负荷等 ③供电专业应与给排水和暖通专业协商室内电缆沟和配线管路给排水和暖通管道的配置问题
3	与其它专业的配合	①与弱电专业包括电话、电视、广播系统等的配合 ②与消防专业的配合

(四) 供电设计文件的编制

1. 初步设计文件的编制 如表 ZY12-7 所示。

表 ZY12-7 初步设计文件的编制

序号	项目	说明
1	文件内容	包括①目录;②设计说明书;③设计图纸;④主要设备材料表;⑤工程概算
2	设计说明书的内容	包括①设计依据,摘录设计任务书或设计批准文件中与本专业设计有关的内容以及其它依据性的资料,包括当地供电部门的有关技术规定等 ②设计范围:根据设计任务要求和有关设计资料、设计规范,说明本专业设计的内容及分工(当有其它单位共同设计时) ③变电所设计(参看表 ZY12-2 序号 2.1) ④厂区配电线路设计(参看表 ZY12-2 序号 2.2) ⑤车间动力配电线路设计(简称“车间动力设计”,参看表 ZY12-2 序号 2.3) ⑥电气照明设计(参看表 ZY12-2 序号 2.4) ⑦建筑物的防雷保护设计:a. 建筑物的防雷等级及相应的防雷措施;b. 接闪器的型式和安装方法;c. 接地装置

(续)

序号	项目	说明
3	设计图样	①供电总平面图 ②供电系统图 ③变配电所平、剖面图 ④动力配电系统图和平面图 ⑤照明系统图和平面图等 ⑥主要设备材料表

2. 施工 (图) 设计文件的编制 如表 ZY12-8 所示。

表 ZY12-8 施工 (图) 设计文件的编制

序号	项目	说明
1	文件内容	包括①目录; ②设计说明和设计图样, 通常在施工图中加附注说明; ③主要设备材料表; ④工程预算
2	供电总平面施工图样	①图样内容: 需标出各建筑名称 (或编号)、层数 (或标高)、等高线和用户的设备容量等; 绘出变配电所位置、线路走向、电杆、路灯、拉线、重复接地、室外电缆沟等; 标出回路编号, 导线电缆截面、根数, 路灯型号和容量; 绘制杆型选择表 ②附注说明: 说明电源电压、进线方向、线路结构、敷设方式; 杆型种类, 是否高低压线路共杆, 杆型标准图号; 架空线路导线型号规格、档数、入户线的架设和保护; 路灯的控制、路灯型号、规格、容量及路灯的保护; 重复接地装置的材料规格、埋设方法及电阻值等
3	变配电所施工图样	①高、低压供电系统结线图: 绘单线图; 标明所有设备元件、母线、导线、电缆的型号规格; 开关柜 (屏) 型号、编号; 回路编号、用户名称、二次结线方案编号等 ②变、配电所平、剖面图: 按比例绘出变压器、开关柜、控制屏、电容器柜、母线、穿墙套管、支架等平、剖面布置、安装尺寸; 进出线的编号、方向位置、线路型号规格、敷设方法; 如选用标准图时, 应注明标准图代号和页次 ③变、配电所电气照明平面图 ④变、配电所接地体和接地线的平面布置图; 应注明材料规格、埋设深度、接地电阻等; 如选用标准图, 应注明标准图代号和页次 ⑤变、配电所防雷装置安装图, 加注必要说明
4	车间动力配电线路施工图样	①动力平面图: 在建筑专业提供的建筑平面图上, 绘出用电设备位置, 标出其编号、容量及进出线位置; 绘出配电箱位置, 标出其型号规格和编号; 所有线路首端标出其型号规格、低压断路器脱扣电流或熔断器熔体电流等 ②动力配电系统图: 绘单线图; 标出配电箱型号规格和编号, 开关、熔断器及导线型号规格、管径和敷设方法, 用电设备编号、名称和容量等 ③附注说明: 说明电源电压、引入方式; 导线型号及敷设方式; 设备安装高度 (亦可直接在平面图上标注); 接地和接零要求等
5	电气照明施工图样	①照明平面图: 在建筑专业提供的建筑平面图上绘出配电箱、灯具、开关、插座、线路等的平面布置; 标注线路、灯具的型号规格、安装方式及高度; 配电箱的型号规格和编号; 照度标准值; 说明电源电压、引入线方式、导线型号规格及敷设方式等 ②照明配电系统图: 绘单线图; 标出配电箱型号规格及编号、开关、熔断器及导线型号规格、管径及敷设方式等 ③照明安装图, 尽可能选用标准图

(续)

序号	项 目	说 明
6	建筑物防雷接地施工图样	①建筑物防雷接地平面图;小型建筑绘顶视平面图;复杂形状的大型建筑宜绘立体图,注出标高和主要尺寸 ②附注说明:建筑物的防雷等级和采取的防雷措施;防雷接地装置的型式、材料、埋设方法及电阻值等

(五) 供电设计的原则和依据

1. 供电设计必须遵循的原则 如表 ZY12-9 所示。

表 ZY12-9 供电设计必须遵循的原则

序号	设计原则	说 明
1	遵守规程执行政策	必须遵守国家的有关规程、规范和标准,执行国家的有关方针和政策,包括节约能源、节约有色金属、逐步与国际标准接轨等技术经济政策
2	安全可靠先进合理	应做到保障人身和设备的安全,供电可靠,电能质量合格,技术先进和经济合理。应选用效率高、能耗低、性能较先进的电气产品
3	近期为主考虑发展	应根据工程特点、规模和发展规划,正确处理近期建设与远期发展的关系,做到远、近期结合,以近期为主,适当考虑扩建的可能性
4	全局出发统筹兼顾	必须从全局出发,统筹兼顾,按照负荷性质、用电容量、工程特点和地区供电条件等,合理确定供电设计方案

2. 供电设计依据的主要设计规范和技术标准 如表 ZY12-10 所示。

表 ZY12-10 供电设计依据的主要设计规范和技术标准

序号	标准代号	标 准 名 称	备 注
1	GB50052—95	供配电系统设计规范	
2	GB50053—94	10kV 及以下变电所设计规范	
3	GB50054—95	低压配电设计规范	
4	GB50055—93	通用用电设备配电设计规范	
5	GB50056—93	电热设备电力装置设计规范	
6	GB50057—94	建筑物防雷设计规范	
7	GB50058—92	爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范	
8	GB50059—92	35~110kV 变电所设计规范	
9	GB50060—92	3~110kV 高压配电装置设计规范	
10	GB50061—□	35kV 及以下架空电力线路设计规范	尚未正式颁布,故年号未定,下同
11	GB50062—92	电力装置的继电保护和自动装置设计规范	
12	GBJ63—90	电力装置的电测量仪表装置设计规范	相当于 GB50063
13	GB50064—□	电力装置过电压保护设计规范	尚未正式颁布
14	GB50065—□	电力装置接地设计规范	尚未正式颁布
15	GB50217—94	电力工程电缆设计规范	

(续)

序号	标准代号	标准名称	备注
16	GB50227—95	并联电容器装置设计规范	
17	GB50034—92	工业企业照明设计标准	
18	GBJ133—90	民用建筑照明设计标准	相当于 GB50133
19	GB156—93	标准电压	
20	GB12325—90	电能质量·供电电压允许偏差	
21	GB12326—90	电能质量·电压允许波动和闪变	
22	GB/T14549—93	电能质量·公用电网谐波	
23	JGJ/T16—92	民用建筑电气设计规范	
24	JBj6—96	机械工厂电力设计规范	
25	GB4728—84、85	电气图用图形符号	
26	GB6988—86	电气制图	
27	GB5094—85	电气技术中的项目代号	
28	GB7159—87	电气技术中的文字符号制订通则	
29	GB10609.1—89	技术制图·标题样	
30	GB10609.2—89	技术制图·明细栏	
31	GB/T14689—93	技术制图·图纸幅面和格式	
32	GB/T14690—93	技术制图·比例	
33	GB/T14691—93	技术制图·字体	

(六) 供电工程的计算机辅助设计 (CAD) 示例

计算机辅助设计 (CAD) 是一项利用计算机来进行工程设计 (包括选择计算、编制表格和绘制图样) 的技术。它借助供电工程或电气工程软件包来实现。表 ZY12-11 简介一种目前比较先进、已在一些大中型设计院应用的由北京一家技术开发公司研制的 EES 电气工程设计软件包, 供参考。

表 ZY12-11 EES 电气工程设计软件包简介

序号	项目	说明
1	软件运行环境	①操作系统: DOS3.31 以上版本 ②绘图支持软件: Microstation ③硬件环境: 386 及以上档次兼容微机, 并特别支持双屏图形操作
2	软件内容	EES 严格执行新颁电气制图标准和有关规程规范, 其功能覆盖常规电气工程设计的全部内容, 能够完成图样目录、说明书、设备材料表、高压供电系统图、照明系统图、通信系统图、公用天线系统图、高压二次原理图、电气控制原理图、可编程序控制器梯形图、盘(箱)面布置图、电气专业用的土建平面图、高低压变配电室布置及条件图、动力平面图、照明平面图、消防平面图、通信及广播电视平面图等电气工程图样的设计工作

(续)

序号	项目	说明
3	高压供电系统设计软件的运用	可进行高压供电单线系统图的绘制,例如,用户如要采用 JYN2 型高压开关柜,则在菜单上选择 JYN2 选项,调出 JYN2 绘图屏幕菜单。用户只需在菜单上选择所需方案号,所选方案即被自动放置,顺序排列。用户可对放置的方案进行调整或修改,并能进行高压供电系统的绘制
4	低压配电系统设计软件的运用	低压配电系统软件由图形库、自动绘图程序及其菜单、工程设计程序和负荷数据文件等组成。软件结构的独立性,使它对配电屏、配电元件和用电设备的更新换代均能方便地适应。配电系统设计软件分为图形设计和工程参数设计两个独立部分。参数设计仅与现有配电回路相对应,能对各种配电屏进行设计选择。例如,用户要用 PGL 型配电屏配电,即在主菜单上选择 PGL 选项,调出 PGL 菜单,其中各方案选项内列出了该方案的基本信息。用户只要选择所需方案及用电负荷,即可自动完成低压配电系统图形设计,并可对它进行任意修改。图形设计完成后,即可进入工程参数设计,在定义了回路类型后,输入用电设备型号,自动检索出其额定功率 P_N 、额定电流 I_N 和最大电流 I_m ,并据此确定本回路全部配电元件的工程设计参数。在确定了线路结构参数后,自动选择线路导线截面和穿线管管径,并进行电压损耗校验。当电压损耗超出 5% 时,即自动修正设计结果。线路类型和结构参数均可随时调整修改
5	照明系统和照明平面绘制软件的运用	<p>①按菜单上提供的照明系统基本模型,用户可根据需要方便地自动生成各式各样的照明系统图</p> <p>②在照明平面图菜单上,分类列出了各种照明元件和符号。软件可将用户选定的元件按一定比例、角度和放置方式自动布置在建筑平面图上。软件提供了自由、连续、矩阵、沿墙、环形等多种放置方式。对于矩阵放置,又提供了横向接线为主、纵向接线为主和不接线三种方式。还可进行沿弧线、折线均匀布灯和环形均匀布灯,使操作快速灵活,图面标准美观。软件可自动生成元件间的接线,并具有直线、曲线两种接线方式。软件还可对灯具和线路进行标注。所有元件能以任意比例和角度放置。软件并能自动生成材料表</p>
6	动力平面图绘制软件的运用	除了像上述照明平面的绘制一样,所有元件能以任意比例和角度自由放置,动力平面绘图软件还提供了以下特殊功能:①等距和等分放置接地体;②以垂直或自由方式布线,包括动力线、软线、控制线和防雷接地线的布线;③参数化自动绘制电缆沟或电缆桥架断面详图;④变配电室布置图

主要参考文献

- 1 刘介才主编. 工厂供电简明设计手册. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 2 中国航空工业规划设计研究院等编. 工业与民用配电设计手册(第二版). 北京: 水利电力出版社, 1994
- 3 胡乃定主编. 民用建筑电气技术与设计. 北京: 清华大学出版社, 1993
- 4 李宗纲主编. 现代企业供用电设计. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1993
- 5 北京博超技术开发公司 EES 电气工程设计软件包技术资料, 1994
- 6 国家标准 GB50052—95 供配电系统设计规范. 北京: 中国计划出版社, 1996
- 7 电力行业标准 DL/T5026 电力工程计算机辅助设计技术规定. 北京: 水利电力出版社, 1994

十三、供电系统的运行维护和检修试验 (ZY13)

(一) 与供电系统运行维护和检修试验有关的部分名词术语 (见表 ZY13-1)

表 ZY13-1 与供电系统运行维护和检修试验有关的部分名词术语

序号	名词术语	含义说明
1	运行 operation, work	指设备或系统的工作, 或称“运转”
2	维护 maintenance	指对设备或系统的保养, 使之保持正常工作状态
3	值班 be on duty	指按规定的制度轮流在一定的时间内工作。此工作时间称为“值班时间”。变配电所担任值班工作的人员, 称为“值班员”
4	巡视 tour	指对设备或线路的视察和外部检视。通常电工值班巡视有一定的路线和项目要求
5	倒闸操作 reversing operation	指电力线路的切换操作。由于线路的切换操作必须倒换开关刀闸, 因此有“倒闸操作”之称
6	检修 examine and repair	指对设备和线路的检查和修理
7	试验 test	指为了深入了解某事物的性质或察看某事物的结果而从事的一种活动
8	出厂试验 test of production	指产品在出厂前所做的性能试验
9	交接试验 hand-over test	指产品在交接时须做的性能试验
10	绝缘电阻试验 insulation resistance test	指为测量在规定条件下的绝缘电阻所进行的试验
11	耐压试验 high voltage test	指为测定设备或线路的绝缘强度是否符合要求而在绝缘上施加高电压所进行的试验
12	相序指示器 phase sequence indicator	指用来指示多相系统中各相导体的瞬时电压达到其最大值的先后的仪表, 即测定相序的指示仪表。或指“相序表”

(二) 变配电所的值班制度及值班员职责与工作要求

1. 变配电所的值班制度 如表 ZY13-2 所示。

表 ZY13-2 变配电所的值班制度

序号	类别	说明
1	三班制 (轮班制)	这是我国目前一般变配电所主要实行的值班制度,即将变配电所值班员分成几个组,全天分为早、中、晚三班,各组轮流值班,全年都不间断。这种值班制度对于确保变配电所安全运行有很大好处,但人力耗用较多
2	在家值班制	这是某些不重要的小型企业的低压电源进线的配电所采取的值班制度。这样可节约人力,减少运行费用,但需有较完善的监测信号或自动装置,才能确保其安全运行
3	无人值班制	这是拥有总降压变电所或高压配电所的工厂企业中各小型车间变电所常用的值班制度,仅由企业总变配电所的值班电工每天定期巡视检查。对于实现高度自动化的企业,供电系统实现了“遥测、遥信、遥控、摇调”(参看表 ZY8-17),变配电所无人值班,而由企业中央调度室来监测控制其运行。这种运动化的变配电所,既节省人力,又能确保变配电所安全运行,是现代化企业供电系统的发展方向

注:变配电所有高压设备时,一般应由两人或两人以上人员值班,但按行业标准 DL408—91《电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)》规定:“高压设备符合下列条件者,可由单人值班:①室内高压设备的隔离室设有遮栏,遮栏的高度在 1.7m 以上,安装牢固并加锁者;②室内高压开关的操作机构用墙或金属板与该开关隔离,或装有远方操作机构者。”DL408—91 还规定:“单人值班不得单独从事修理工作。”

2. 变配电所值班员的职责与工作要求 如表 ZY13-3 所示。

表 ZY13-3 变配电所值班员的职责与工作要求

序号	项目	说明
1	变配电所值班员的职责	<ul style="list-style-type: none"> ① 遵守变配电所值班工作制度,坚守工作岗位,作好所的安全保卫工作,确保安全运行 ② 积极钻研本职工作,认真学习和贯彻有关规程,熟悉变配电所的一、二次结线和电气设备,掌握安全用具和消防器材的使用方法 & 触电急救法,了解变配电所现在的运行方式、负荷情况 & 负荷调整、电压调节等措施 ③ 监视所内各种设备的运行情况,定期巡视检查,按照规定抄报各种运行数据,记录运行日志;发现设备缺陷和运行不正常时,及时处理,并做好记录,以备查考 ④ 按上级调度命令进行倒闸操作,发生事故时进行紧急处理,并做好记录,以备查考 ⑤ 保管所内各种资料图表、工具仪器和消防器材等,并做好和保持所内设备和环境的清洁卫生 ⑥ 按规定进行交接班。值班员未办完交接手续时,不得擅离岗位。在处理事故时,一般不得交接班。接班的值班员可在当班的值班员要求和主持下,协助处理事故。如事故一时难于处理完毕,在征得接班的值班员同意或上级同意后,可进行交接班
2	高压设备的巡视要求 (据 DL408—91)	<ul style="list-style-type: none"> ① 经企业领导批准允许单独巡视高压设备的值班员和非值班员,巡视高压设备时,不得进行其它工作,不得移开或越过遮栏 ② 雷雨天气,需要巡视室外高压设备时,应穿绝缘靴,并不得靠近避雷器和避雷针 ③ 高压设备发生接地时,室内不得接近故障点 4m 以内,室外不得接近故障点 8m 以内。进入上述范围的人员必须穿绝缘靴;接触设备的外壳和构架时,应戴绝缘手套 ④ 巡视配电装置,进出高压室,必须随手将门锁好 ⑤ 高压室的钥匙至少应有三把,由配电值班人员负责保管,按值移交。一把专供紧急时使用,一把专供值班员使用,其它可以借给许可单独巡视高压设备的人员和工作负责人使用,但必须登记签名,当日交回

(续)

序号	项 目	说 明
3	倒闸操作的要求 (据 DL408—91)	<p>① 倒闸操作必须根据值班调度员或值班负责人命令,受令人复诵无误后执行。发布命令应准确、清晰、使用正规操作术语和设备双重名称,即设备名称和编号。发令人使用电话发布命令前,应先与受令人互报姓名。值班调度员发布命令的全过程(包括对方复诵命令)和听取命令的报告时,都要录音并作好记录。倒闸操作由操作人填写操作票(参看表 ZY13-4)。单人值班,操作票由发令人用电话向值班员传达,值班员应根据传达,填写操作票,复诵无误,并在“监护人”签名处填入发令人的姓名。每张操作票只能填写一个操作任务</p> <p>② 停电拉闸操作必须按照断路器(开关)——负荷侧隔离开关(刀闸)——母线侧隔离开关(刀闸)的顺序依次操作。送电合闸操作应按与上述相反的顺序进行。严禁带负荷拉合刀闸</p> <p>③ 为防止误操作,高压电气设备都应加装防止误操作的闭锁装置(少数特殊情况下经上级主管部门批准,可加机械锁)。闭锁装置的解锁用具(包括钥匙)应妥善保管,按规定使用,不许乱用。机械锁要一把钥匙开一把锁,钥匙要编号并妥善保管,方便使用。所有投运的闭锁装置(包括机械锁)不经值班调度员或值长同意不得退出或解锁</p> <p>④ 下列项目应填入操作票内:应拉合的断路器(开关)和隔离开关(刀闸)、检查断路器(开关)和隔离开关(刀闸)的位置,检查接地线是否拆除,检查负荷分配,装拆接地线,安装或拆除控制回路或电压互感器回路的熔断器,切换保护回路和检验是否确无电压等。操作票应填写设备的双重名称,即设备名称和编号</p> <p>⑤ 操作票应用钢笔或圆珠笔填写,票面应清楚整洁,不得任意涂改。操作人和监护人应根据模拟图板或结线图核对所填写的操作项目,并分别签名,然后经值班负责人审核签名。特别重要和复杂的操作还应由值长审核签名</p> <p>⑥ 开始操作前,应先在模拟图板上进行核对性模拟预演,无误后,再进行设备操作。操作前应核对设备名称、编号和位置,操作中应认真执行监护复诵制。发布操作命令和复诵操作命令都应严肃认真,声音宏亮清晰。必须按操作票填写的顺序逐项操作。每操作完一项,应检查无误后做一个“√”记号,全部操作完毕后进行复查</p> <p>⑦ 倒闸操作必须由两人执行,其中一人对设备较为熟悉者作监护。单人值班的变电所倒闸操作可由一人执行。特别重要和复杂的倒闸操作,由熟练的值班员操作,由值班负责人或值长监护</p> <p>⑧ 操作中发生疑问时,应立即停止操作并向值班调度员或值班负责人报告,弄清问题后,再进行操作。不准擅自更改操作票,不准随意解除闭锁装置</p> <p>⑨ 用绝缘棒拉合隔离开关(刀闸)或经传动机构拉合隔离开关(刀闸)和断路器(开关),切应戴绝缘手套。雨天操作室外高压设备时,绝缘棒应有防雨罩,还应穿绝缘靴。接地网电阻不符合要求的,晴天也应穿绝缘靴。雷雨时,禁止进行倒闸操作</p> <p>⑩ 装卸高压熔断器,应戴护目眼镜和绝缘手套,必要时使用绝缘夹钳,并站在绝缘垫或绝缘台上</p> <p>⑪ 断路器(开关)的断流容量应满足电网要求。如断流容量不够,必须将操作机构用墙或金属板与该断路器隔开,并设远方控制,重合闸装置必须停用</p> <p>⑫ 电气设备停电后,即使是事故停电,在未拉开有关隔离开关(刀闸)和做好安全措施以前,不得触及设备或进入遮栏,以防突然来电</p> <p>⑬ 在发生人身触电事故时,为了解救触电人,可以不经许可,即行断开有关设备的电源,但事后必须立即报告上级</p> <p>⑭ 下列各项工作可以不用操作票:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. 事故处理 b. 拉合断路器(开关)的单一操作 c. 拉合接地刀闸或拆除全厂(所)仅有的一组接地线 <p>上述操作应记入操作记录簿内</p> <p>⑮ 操作票应先编号,按照编号顺序使用。作废的操作票,应注明“作废”字样。已操作的注明“已执行”的字样。上述操作票保存三个月</p>

3. 倒闸操作票格式 如表 ZY13-4 所示。

表 ZY13-4 倒闸操作票格式 (据 DL 408—91)

发电厂 (变电所) 倒闸操作票

编号:

操作开始时间: 年 月 日 时 分;		终止时间: 年 月 日 时 分	
操作任务:			
√	顺序	操 作 项 目	
备注:			

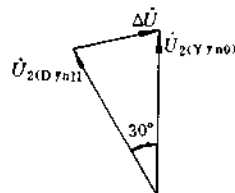
操作人: 监护人: 值班负责人: 值长:

(三) 电力变压器的运行维护和检修试验

1. 电力变压器并列运行的条件 如表 ZY13-5 所示。

表 ZY13-5 电力变压器并列运行的条件

序号	条 件	说 明
1	所有变压器的额定一次电压和二次电压必须对应相等	即所有并列运行的变压器的电压比应该相同, 允许差值范围为±5%。如果电压比不同, 则并列的变压器二次绕组的回路内将出现环流, 二次电压高的绕组将向二次电压低的绕组供给电流, 引起电能损耗, 可导致绕组过热或烧毁
2	所有变压器的阻抗电压必须相等	由于并列运行变压器的负荷是按其阻抗电压 (即短路电压) 成反比分配的, 所以其阻抗电压必须相等, 且允许差值范围为±10%。如果阻抗电压的差值过大, 可能使阻抗电压小的变压器发生过负荷现象
3	所有变压器的联结组必须相同	即所有并列运行的变压器的一次电压和二次电压的相序和相位均对应地相同, 否则不能并列运行。例如两台变压器的变电所, 假设一台变压器为 Yyn0 联结, 另一台为 Dyn11 联结, 则两台变压器并列运行时, 其对应的二次侧将出现 30° 的相位差, 从而在两台变压器的二次绕组间产生相位差 $\Delta\dot{U}$, 如右图所示。此 $\Delta\dot{U}$ 将在两台变压器二次侧产生很大的环流, 能使变压器绕组烧毁
4	并列变压器的容量差别不宜太大	并列运行的变压器最大容量与最小容量之比, 一般不宜超过 3:1。如果容量相差悬殊, 不仅运行不便, 而且容易造成容量小的变压器过负荷



2. 电力变压器的运行维护 如表 ZY13-6 所示。

表 ZY13-6 电力变压器的运行维护

序号	项 目	说 明
1	变压器运行维护的一般要求	<p>① 有人值班的变电所：应根据控制盘上的仪表指示经常监视变压器的运行情况，并每小时抄表一次。如果变压器在过负荷下运行，则至少每半小时抄表一次。安装在变压器上的温度计，于巡视变压器时检视和记录</p> <p>② 无人值班的变电所：应于每次定期巡视时，记录变压器的电压、电流和上层油温。有远方监视装置的变压器，应经常监视仪表的指示</p> <p>③ 变压器应定期进行巡视检查。有人值班的变电所，每天至少巡视一次，每周至少进行一次夜间巡视。无人值班的变电所，变压器容量为 3150kVA 以下的（户内配电变压器为 2500kV·A 及以下），每月至少巡视一次（对户外配电变压器，每季度至少一次）；变压器容量为 3150kV·A 及以上的，每 10 天至少巡视一次。根据现场的具体情况特别是在气候骤变、高温季节及高峰负荷时，应适当增加巡视检查次数（据 DL/T572—95）</p>
2	变压器日常巡视检查的内容 (据 DL/T572—95)	<p>① 变压器的油温和温度计应正常，储油柜的油位应与温度相对应，各部位无渗油、漏油</p> <p>② 套管油位应正常，套管外部无破损裂纹、无严重油污、无放电痕迹及其它异常现象</p> <p>③ 变压器音响正常</p> <p>④ 各冷却器手感温度应相近，风扇、油泵、水泵运转正常，油流继电器工作正常</p> <p>⑤ 水冷却器的油压应大于水压（制造厂另有规定者除外）</p> <p>⑥ 吸湿器完好，吸附剂干燥</p> <p>⑦ 引线接头、电缆、母线应无发热迹象</p> <p>⑧ 压力释放器或安全气道及防爆膜应完好无损</p> <p>⑨ 有载分接开关的分接位置及电源指示应正常</p> <p>⑩ 瓦斯继电器内应无气体</p> <p>⑪ 各控制箱和二次端子箱应关严，无受潮</p> <p>⑫ 干式变压器的外部表面应无积污</p> <p>⑬ 变压器室的门、窗、照明应完好，房屋不漏水，温度正常</p> <p>⑭ 现场规程中根据变压器的结构特点补充检查的其它项目</p>

3. 电力变压器的检修 如表 ZY13-7 所示。变压器的检修工艺及质量标准应符合 DL/T 573—95 的规定。

表 ZY13-7 电力变压器的检修

序号	项 目	说 明
1	变压器的大修	<p>即变压器的吊芯（吊出器身）检修</p> <p>① 宜在室内进行，室温应在 10℃ 以上。如在寒冷季节，室温应比室外气温高出 10℃ 以上。室内应清洁干燥，无腐蚀性气体和灰尘。不宜在阴雨天吊芯</p> <p>② 吊出的器身暴露在空气中的时间：a. 干燥空气中（相对湿度不大于 65%）不超过 16h；b. 潮湿空气中（相对湿度不大于 75%）不超过 12h</p> <p>③ 吊芯前，应先对外壳、套管、散热管、防爆管、油枕和放油阀等进行外部检查，然后放油，拆开变压器顶盖，吊出器身，将器身放在平整牢靠的方木上或其它物体上，但不得直接放在地上。接着仔细检查器身，包括铁心、绕组、分接开关、接头部分和引出线等</p>

(续)

序号	项目	说明															
1	变压器的大修	④ 对变压器绕组,应根据其色泽和老化程度来判断绝缘的好坏。变压器绝缘老化的程度可分四级,如下表所示															
		绝缘状态的分级															
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">级别</th> <th style="width: 60%;">绝缘状态</th> <th style="width: 30%;">说明</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>绝缘弹性良好,色泽新鲜均匀,手按无残留变形</td> <td>绝缘良好</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td>绝缘稍硬,但手按无裂纹不脱落,色泽稍暗</td> <td>绝缘合格</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td>绝缘已经发脆,手按有轻微裂纹,但变形不太大,色泽较暗</td> <td>绝缘不可靠,但勉强可用</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4</td> <td>绝缘已严重脆化,呈黑褐色,手按时即裂纹或脱落</td> <td>不能使用,应更换</td> </tr> </tbody> </table>	级别	绝缘状态	说明	1	绝缘弹性良好,色泽新鲜均匀,手按无残留变形	绝缘良好	2	绝缘稍硬,但手按无裂纹不脱落,色泽稍暗	绝缘合格	3	绝缘已经发脆,手按有轻微裂纹,但变形不太大,色泽较暗	绝缘不可靠,但勉强可用	4	绝缘已严重脆化,呈黑褐色,手按时即裂纹或脱落	不能使用,应更换
		级别	绝缘状态	说明													
		1	绝缘弹性良好,色泽新鲜均匀,手按无残留变形	绝缘良好													
		2	绝缘稍硬,但手按无裂纹不脱落,色泽稍暗	绝缘合格													
3	绝缘已经发脆,手按有轻微裂纹,但变形不太大,色泽较暗	绝缘不可靠,但勉强可用															
4	绝缘已严重脆化,呈黑褐色,手按时即裂纹或脱落	不能使用,应更换															
⑤ 对变压器铁心上和油箱内的油泥,可用铲刀刮除,再用不易脱毛的干布擦干净,最后用变压器油冲洗。对变压器绕组上的油泥,只能用手轻轻剥脱;对绝缘脆弱的绕组,尤其要细心,以免损坏绝缘。擦洗后,用强油流冲洗干净。变压器内的油泥,不可用碱水刷洗,以免碱水冲洗不净时,残留在芯子中影响油质																	
⑥ 对变压器铁心的穿心螺杆,可用 1000V 的兆欧表来测量它与铁心间的绝缘电阻。6~10kV 及以下变压器的铁心螺杆对铁心的绝缘电阻,一般不应小于 2MΩ。亦可用 2500V 的兆欧表测量,试验时间为 1min,应无闪络及击穿现象。如不满足要求时,应拆下绝缘纸管检修或予以更换																	
⑦ 对分接开关,主要是检修其触头表面和接触的情况。触头表面不应有烧结的疤痕。触头烧损严重时,应予更换。触头表面的氧化膜和污垢,应用汽油或丙酮擦洗干净。此外,应检查顶盖上开关的标示位置与其触头的接触位置是否一致,并检查触头在每一位置的接触是否良好																	
⑧ 对所有接头,均应检查是否紧固,如松动,应紧好。对焊接的接头,如有脱焊,应补焊。瓷套管如有破损时,应予以更换																	
⑨ 对变压器上的测量仪表、信号和保护装置,也应进行检查和修理																	
⑩ 对变压器油箱,应检查有无漏油现象。如漏油,应予修理(补焊或更换密封材料)																	
⑪ 应滤油或换油。换的油必须先经试验,合格的才能注入变压器																	
⑫ 如有下列情况之一时,变压器器身应进行干燥处理:a. 更换有绕组或绕组绝缘有修理者;b. 器身暴露在空气中的时间超过规定时限者,或空气湿度超过规定值者;c. 经绝缘测定,证明变压器绝缘受潮者。干燥的方法,有感应加热法、热风干燥法和烘房干燥法等。无论采用哪一种干燥法,在无油干燥时,变压器器身的温度不得超过 95℃;在带油干燥时,油温不得高于 80℃,以免油质老化																	
⑬ 最后,清扫外壳,必要时进行油漆;然后装配还原,并进行规定的试验,合格后即可投入运行																	
2	变压器的小修	<p>即变压器的外部检修</p> <p>① 擦净外壳和瓷套管。如瓷套管破损或其胶垫老化脱落者,应予更换</p> <p>② 检查和清扫冷却装置</p> <p>③ 检查并拧紧引出线的接头,如发现接头烧损,应用砂布擦光后接好</p> <p>④ 检查放油阀和密封衬垫是否完好</p> <p>⑤ 检查油枕和瓦斯继电器的油位和油色</p> <p>⑥ 检查瓦斯继电器及其引出线是否完好</p> <p>⑦ 放出油枕中的污泥,必要时换油</p> <p>⑧ 检查防爆膜是否完好</p> <p>⑨ 检查接地是否良好</p> <p>⑩ 消除巡视中发现的一切能就地消除的缺陷</p> <p>⑪ 最后,测量变压器绕组对外壳的绝缘电阻。如满足要求,即可投入运行</p>															

4. 电力变压器的试验 如表 ZY13-8 所示。

表 ZY13-8 电力变压器的试验 (据 GB 50150—91)

序号	项 目	说 明
1	电力变压器的试验项目内容	<ul style="list-style-type: none"> ① 测量绕组连同套管的直流电阻 ② 检查所有分接头的电压比 ③ 检查变压器的三相结线组别和单相变压器引出线(端)的极性 ④ 测量绕组连同套管的绝缘电阻、吸收比或极化指数 ⑤ 测量绕组连同套管的介质损耗角正切值 $\tan\delta$ ⑥ 测量绕组连同套管的直流泄漏电流 ⑦ 绕组连同套管的交流耐压试验 ⑧ 绕组连同套管的局部放电试验 ⑨ 测量与铁心绝缘的各紧固件及铁心接地线引出套管对外壳的绝缘电阻 ⑩ 非纯瓷套管的试验 ⑪ 绝缘油试验 ⑫ 有载调压切换装置的检查 and 试验 ⑬ 额定电压下的冲击合闸试验 ⑭ 检查相位 ⑮ 测量噪声
2	各类电力变压器的交接试验项目	<ul style="list-style-type: none"> ① 1600kV·A 以上油浸式电力变压器的试验, 应按序号 1 全部项目的规定进行 ② 1600kV·A 及以下油浸式电力变压器的试验, 可按序号 1 的①、②、③、④、⑦、⑨、⑩、⑪、⑫、⑬款的规定进行 ③ 干式变压器的试验, 可按序号 1 的①、②、③、④、⑦、⑨、⑫、⑬、⑭款的规定进行 ④ 交流、整流变压器的试验, 可按序号 1 的①、②、③、④、⑦、⑨、⑪、⑫、⑬、⑭款的规定进行 ⑤ 电炉变压器的试验, 可按序号 1 的①、②、③、④、⑦、⑨、⑩、⑪、⑫、⑬、⑭款的规定进行 ⑥ 电压等级在 35kV 及以上的变压器, 在交接时, 应提交变压器及非纯瓷套管的出厂试验记录
3	测量绕组连同套管的直流电阻要求	<ul style="list-style-type: none"> ① 测量应在各分接头的所有位置上进行 ② 1600kV·A 及以下三相变压器, 各相测量值的相互差值应小于平均值的 4%, 线间测得值的相互差值应小于平均值的 2%; 1600kV·A 以上三相变压器, 各相测得值的相互差值应小于平均值的 2%, 线间测得值的相互差值应小于平均值的 1% ③ 变压器的直流电阻, 与同温下产品出厂实测数值比较, 相应变化应不大于 2% ④ 由于变压器结构等原因, 差值超过②款时, 可只按③款进行比较
4	检查所有分接头的电压比要求	与制造厂铭牌数据相比应无明显差别, 且应符合电压比的规律; 绕组电压等级在 220kV 及以上的电力变压器, 其电压比的允许误差在额定分接头位置时为 $\pm 0.5\%$
5	检查变压器的三相结线组别和单相变压器引出线的极性要求	必须与设计要求及铭牌上的标记和外壳上的符号相符

(续)

序号	项 目	说 明																										
6	测量绕组连同套管的绝缘电阻、吸收比或极化指数	<p>① 绝缘电阻值不应低于产品出厂试验值的 70%</p> <p>② 当测量温度与产品出厂试验时的温度不符合时, 可按下表换算到同一温度时的数值进行比较</p> <p style="text-align: center;">油浸式电力变压器绝缘电阻的温度换算系数</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>温度差 K</td> <td>5</td> <td>10</td> <td>15</td> <td>20</td> <td>25</td> <td>30</td> <td>35</td> <td>40</td> <td>45</td> <td>50</td> <td>55</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>换算系数 A</td> <td>1.2</td> <td>1.5</td> <td>1.8</td> <td>2.3</td> <td>2.8</td> <td>3.4</td> <td>4.1</td> <td>5.1</td> <td>6.2</td> <td>7.5</td> <td>9.2</td> <td>11.2</td> </tr> </table> <p>备注: 表中 K 为实测温度减去 20℃ 的绝对值</p> <p>当测量绝缘电阻的温度差不是表中所列数值时, 其换算系数 A 可用线性插入法确定, 也可按下列公式计算:</p> $A = 1.5^{K/10}$ <p>校正到 20℃ 时的绝缘电阻值可用下列公式计算:</p> <p>a. 当实测温度在 20℃ 以上时:</p> $R_{20} = AR_t$ <p>b. 当实测温度在 20℃ 以下时:</p> $R_{20} = R_t / A$ <p>式中, R_{20} 为校正到 20℃ 时的绝缘电阻值 (MΩ); R_t 为在测量温度下的绝缘电阻值 (MΩ)</p> <p>③ 变压器电压等级为 35kV 及以上, 且容量为 4000kV·A 及以上时, 应测量吸收比。吸收比与产品出厂值相比应无明显差别, 在常温下不应小于 1.3</p> <p>④ 变压器电压等级为 220kV 及以上, 且容量为 120MV·A 及以上时, 宜测量极化指数。测得值与产品出厂值相比, 应无明显差别</p>	温度差 K	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	换算系数 A	1.2	1.5	1.8	2.3	2.8	3.4	4.1	5.1	6.2	7.5	9.2	11.2
		温度差 K	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60														
		换算系数 A	1.2	1.5	1.8	2.3	2.8	3.4	4.1	5.1	6.2	7.5	9.2	11.2														
		7	测量绕组连同套管的介质损耗角正切值 $\tan\delta$ 要求	<p>① 当变压器电压等级为 35kV 及以上, 且容量为 8000kV·A 及以上时, 应测量介质损耗角正切值 $\tan\delta$</p> <p>② 被测绕组的 $\tan\delta$ 值不应大于产品出厂试验值的 130%</p> <p>③ 当测量时的温度与产品出厂试验温度不符合时, 可按下表换算到同一温度时的数值进行比较</p> <p style="text-align: center;">介质损耗角正切值 $\tan\delta$ (%) 的温度换算系数</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>温度差 K</td> <td>5</td> <td>10</td> <td>15</td> <td>20</td> <td>25</td> <td>30</td> <td>35</td> <td>40</td> <td>45</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>换算系数 A</td> <td>1.15</td> <td>1.3</td> <td>1.5</td> <td>1.7</td> <td>1.9</td> <td>2.2</td> <td>2.5</td> <td>2.9</td> <td>3.3</td> <td>3.7</td> </tr> </table> <p>备注: 表中 K 为实测温度减去 20℃ 的绝对值</p> <p>当测量时的温度差不是表中所列数值时, 其换算系数 A 可用线性插入法确定, 也可按下列公式计算:</p> $A = 1.3^{K/10}$ <p>校正到 20℃ 时的介质损耗角正切值可用下列公式计算:</p> <p>a. 当测量温度在 20℃ 以上时:</p> $\tan\delta_{20} = \tan\delta_t / A$ <p>b. 当测量温度在 20℃ 以下时:</p> $\tan\delta_{20} = A \tan\delta_t$ <p>式中, $\tan\delta_{20}$ 为校正到 20℃ 时的 $\tan\delta$; $\tan\delta_t$ 为在测量温度下的 $\tan\delta$</p>	温度差 K	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	换算系数 A	1.15	1.3	1.5	1.7	1.9	2.2	2.5	2.9	3.3	3.7		
温度差 K	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50																		
换算系数 A	1.15	1.3	1.5	1.7	1.9	2.2	2.5	2.9	3.3	3.7																		

信 息 科 技 出 版 社

(续)

序号	项目	说明																																																																														
8	测量绕组连同套管的直流泄漏电流要求	<p>① 变压器电压等级为 35kV 及以上,且容量为 10000kV·A 及以上时,应测量直流泄漏电流</p> <p>② 试验电压标准应符合下表 1 的规定。当施加试验电压达 1min 时,在高压端读取泄漏电流。泄漏电流值不宜超过下表 2 的规定</p> <p style="text-align: center;">表 1 油浸式电力变压器直流泄漏试验电压标准</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>绕组额定电压/kV</td> <td>6~10</td> <td>20~35</td> <td>66~330</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>直流试验电压/kV</td> <td>10</td> <td>20</td> <td>40</td> <td>60</td> </tr> </table> <p>备注: ① 绕组额定电压为 13.8kV 及 15.75kV 时,按 10kV 级标准;18kV 时,按 20kV 标准 ② 分级绝缘变压器仍按被试绕组电压等级的标准</p> <p style="text-align: center;">表 2 油浸式电力变压器绕组直流泄漏电流参考值</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <th rowspan="2">额定电压 kV</th> <th rowspan="2">试验电压 峰值/kV</th> <th colspan="8">在下列温度时的绕组泄漏电流值/μA</th> </tr> <tr> <th>10℃</th> <th>20℃</th> <th>30℃</th> <th>40℃</th> <th>50℃</th> <th>60℃</th> <th>70℃</th> <th>80℃</th> </tr> <tr> <td>2~3</td> <td>5</td> <td>11</td> <td>17</td> <td>25</td> <td>39</td> <td>55</td> <td>83</td> <td>125</td> <td>178</td> </tr> <tr> <td>6~15</td> <td>10</td> <td>22</td> <td>33</td> <td>50</td> <td>77</td> <td>112</td> <td>166</td> <td>250</td> <td>356</td> </tr> <tr> <td>20~35</td> <td>20</td> <td>33</td> <td>50</td> <td>74</td> <td>111</td> <td>167</td> <td>250</td> <td>400</td> <td>570</td> </tr> <tr> <td>66~330</td> <td>40</td> <td>33</td> <td>50</td> <td>74</td> <td>111</td> <td>167</td> <td>250</td> <td>400</td> <td>570</td> </tr> <tr> <td>500</td> <td>60</td> <td>20</td> <td>30</td> <td>45</td> <td>67</td> <td>100</td> <td>150</td> <td>235</td> <td>330</td> </tr> </table>	绕组额定电压/kV	6~10	20~35	66~330	500	直流试验电压/kV	10	20	40	60	额定电压 kV	试验电压 峰值/kV	在下列温度时的绕组泄漏电流值/μA								10℃	20℃	30℃	40℃	50℃	60℃	70℃	80℃	2~3	5	11	17	25	39	55	83	125	178	6~15	10	22	33	50	77	112	166	250	356	20~35	20	33	50	74	111	167	250	400	570	66~330	40	33	50	74	111	167	250	400	570	500	60	20	30	45	67	100	150	235	330
		绕组额定电压/kV	6~10	20~35	66~330	500																																																																										
		直流试验电压/kV	10	20	40	60																																																																										
		额定电压 kV	试验电压 峰值/kV	在下列温度时的绕组泄漏电流值/μA																																																																												
				10℃	20℃	30℃	40℃	50℃	60℃	70℃	80℃																																																																					
		2~3	5	11	17	25	39	55	83	125	178																																																																					
		6~15	10	22	33	50	77	112	166	250	356																																																																					
20~35	20	33	50	74	111	167	250	400	570																																																																							
66~330	40	33	50	74	111	167	250	400	570																																																																							
500	60	20	30	45	67	100	150	235	330																																																																							
9	绕组连同套管的交流耐压试验要求	<p>① 容量为 8000kV·A 以下、绕组额定电压为 110kV 以下的变压器,应按下表所列试验电压标准进行交流耐压试验</p> <p>② 容量为 8000kV·A 及以上、绕组额定电压为 110kV 以下的变压器,在有试验设备时,可按下表所列试验电压标准进行交流耐压试验</p> <p style="text-align: center;">电力变压器绕组绝缘的工频耐压试验电压标准</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>绕组额定电压/kV</td> <td>3</td> <td>6</td> <td>10</td> <td>15</td> <td>20</td> <td>35</td> <td>66</td> <td>110</td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td rowspan="4">1min 工频耐受电压有效值/kV</td> <td rowspan="2">油浸式变压器</td> <td>出厂</td> <td>18</td> <td>25</td> <td>35</td> <td>45</td> <td>55</td> <td>85</td> <td>140</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>交接</td> <td>15</td> <td>21</td> <td>30</td> <td>38</td> <td>47</td> <td>72</td> <td>120</td> <td>170</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">干式变压器</td> <td>出厂</td> <td>10</td> <td>20</td> <td>28</td> <td>38</td> <td>50</td> <td>70</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>交接</td> <td>8.5</td> <td>17</td> <td>24</td> <td>32</td> <td>43</td> <td>60</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> </table>	绕组额定电压/kV	3	6	10	15	20	35	66	110	1min 工频耐受电压有效值/kV	油浸式变压器	出厂	18	25	35	45	55	85	140	200	交接	15	21	30	38	47	72	120	170	干式变压器	出厂	10	20	28	38	50	70	—	—	交接	8.5	17	24	32	43	60	—	—																														
		绕组额定电压/kV	3	6	10	15	20	35	66	110																																																																						
		1min 工频耐受电压有效值/kV	油浸式变压器	出厂	18	25	35	45	55	85	140		200																																																																			
				交接	15	21	30	38	47	72	120		170																																																																			
			干式变压器	出厂	10	20	28	38	50	70	—	—																																																																				
交接	8.5			17	24	32	43	60	—	—																																																																						
10	绕组连同套管的局部放电试验要求	<p>① 电压等级为 500kV 的变压器宜进行局部放电试验,实测放电量应符合下列规定:</p> <p>a. 预加电压为 $\sqrt{3} U_m / \sqrt{3} = U_m$</p> <p>b. 测量电压在 $1.3 U_m / \sqrt{3}$ 下,时间为 30min,视在放电量不宜大于 300pC</p> <p>c. 测量电压在 $1.5 U_m / \sqrt{3}$ 下,时间为 30min,视在放电量不宜大于 500pC</p> <p>d. 上述测量电压的选择,按合同规定</p> <p>注: U_m 为设备的最高电压有效值</p> <p>② 电压等级为 220 及 330kV 的变压器,当有试验设备时宜进行局部放电试验</p> <p>③ 局部放电试验方法及在放电量超出上述规定时的判断方法,均按现行国家标准《电力变压器》中的有关规定进行</p>																																																																														

(续)

序号	项目	说 明					
11	测量与铁心绝缘的各紧固件及铁心接地线引出套管对外壳的绝缘电阻要求	① 进行器身检查的变压器,应测量可接触到的穿心螺栓、轭铁夹件及绑扎钢带对铁轭、铁心、油箱及绕组压环的绝缘电阻 ② 采用 2500V 兆欧表测量,持续时间为 1min,应无闪络及击穿现象 ③ 当轭铁梁及穿心螺栓一端与铁心连接时,应将连接片断开后进行试验 ④ 铁心必须为一点接地;变压器上有专用的铁心接地线引出套管时,应在注油前测量其对外壳的绝缘电阻					
12	非纯瓷套管的试验	按有关套管试验的规定进行,其试验项目有:①测量绝缘电阻;②测量 20kV 及以上非纯瓷套管的介质损耗角正切值 $\tan\delta$ 和电容值;③交流耐压试验;④绝缘油试验					
13	绝缘油的试验	① 绝缘油的试验项目和标准,应符合下表 1 的规定					
		表 1 绝缘油的试验项目和标准					
		序号	项 目	标 准		说 明	
		1	外观	透明,无沉淀及悬浮物		5 C 时的透明度	
		2	苛性钠抽出	不应大于 2 级		按 SY2651-77	
		3	安 定 性	氧化后酸值	不应大于 0.2mg (KOH) / g (油)		按 YS-27-1-84
				氧化后沉淀物	不应大于 0.05%		
		4	凝点	① DB-10,不应高于 -10 C ② DB-25,不应高于 -25 C ③ DB-45,不应高于 -45 C		① 按 YS-25-1-84 ② 变压器用油; a. 气温不低于 -10 C 的地区,凝点不应高于 -10 C b. 气温低于 -10 C 的地区,凝点不应高于 -25 C 或 -45 C	
		5	界面张力	不应小于 35mN/m		① 按 GB6541-87 或 YS-6-1-84 ② 测试时温度为 25 C	
		6	酸值 $m_{\text{KOH}}/m_{\text{油}}$	不应大于 0.03mg/g		按 GB7599-87	
		7	水溶性酸 (pH 值)	不应小于 5.4		按 GB7598-87	
8	机械杂质	无		按 GB511-77			
9	闪点 (不低于)	DB-10 140 C	DB-25 140 C	DB-40 135 C	按 GB261-77 闭口法		
10	电气强度试验	① 使用于 15kV 及以下者不应低于 25kV ② 使用于 20~35kV 者不应低于 35kV ③ 使用于 66~220kV 者不应低于 40kV ④ 使用于 330kV 者不应低于 50kV ⑤ 使用于 500kV 者不应低于 60kV		① 按 GB507-86 ② 油样应取自被试设备 ③ 试验油杯采用平板电极 ④ 对注入设备的新油均不应低于本标准			

(续)

序号	项目	说明				
		序号	项目	标准	说明	
13	绝缘油的试验	11	介质损耗角正切值 $\tan\delta$ (%)	90℃时不应大于 0.5	① 按 YS-30-1-84 ② 此为新油标准; 注入设备后的 $\tan\delta$ 在 90℃时不应大于 0.7%	
		② 新油验收及充油设备的绝缘油试验分类, 应符合下表 2 的规定 表 2 电气设备绝缘油试验分类				
		类别	适用范围			
		电气强度试验	① 6kV 以上电气设备内的绝缘油或新注入上述设备前、后的绝缘油 ② 对下列情况之一者, 可不进行电气强度试验: a. 35kV 以下互感器, 其主绝缘已合格的 b. 15kV 以下油断路器, 其注入新油的电气强度已在 35kV 及以上的 c. 按标准 GB50150—91 有关规定不需取油的			
		简化分析	① 准备注入变压器等的新油, 应按本序号表 1 中第 5~11 项的规定进行 ② 准备注入油断路器的新油, 应按本序号表 1 中第 7~10 项的规定进行			
		全分析	对油的性质有怀疑时, 应按本序号表 1 的全部项目进行			
14	有载调压切换装置的检查和试验	③ 油中溶解气体的色谱分析, 应符合下列规定: 电压等级在 66kV 及以上的变压器, 应在升压或冲击合闸前及额定电压下运行 24h 后, 各进行一次变压器器身内绝缘油的油中溶解气体的色谱分析。两次测得的氢、乙炔、总烃含量, 应无明显差别。试验应按现行国家标准《变压器油中溶解气体分析和判断导则》进行				
		④ 油中微量水的测量, 应符合下列规定: 变压器油中的微量水含量, 对电压等级为 110kV 的, 其体积分数不应大于 20×10^{-6} ; 220~330kV 的, 不应大于 15×10^{-6} ; 500kV 的, 不应大于 10×10^{-6}				
		① 在切换开关取出检查时, 应测量限流电阻的电阻值, 测得值与产品出厂数值相比, 应无明显差别				
		② 在切换开关取出检查时, 应检查切换开关切换触头的全部动作顺序, 使之符合产品技术条件的规定				
		③ 切换装置在全部切换过程中, 应无开路现象; 电气和机械限位动作正确且符合产品要求; 在操作电源电压为额定电压的 85% 及以上时, 其全过程的切换应可靠动作				
15	变压器的冲击合闸试验	④ 在变压器无电压下操作 10 个循环, 在空载下按产品技术条件的规定检查切换装置的调压情况, 其三相切换同步性及电压变化范围和规律, 与产品出厂数据相比, 应无明显差别				
		⑤ 绝缘油注入切换开关油箱前, 其电气强度应符合本表序号 13 中表 1 的规定				
15	变压器的冲击合闸试验	① 在额定电压下对变压器的冲击合闸试验, 应进行 5 次, 每次间隔时间宜为 5min, 应无异常现象; ② 冲击合闸宜在变压器高压侧进行; ③ 对中性点接地的电力系统, 试验时变压器中性点必须接地; ④ 发电机变压器组中间连接无操作断开点的变压器, 可不进行冲击合闸试验				
16	变压器的相位检查	变压器的相位必须与电网相位一致				

(续)

序号	项目	说明
17	变压器的噪声测量	电压等级为 500kV 的变压器的噪声,应在额定电压及额定频率下测量,噪声值不应大于 80dB (A),其测量方法和要求应按现行国家标准 GB7328—87《变压器和电抗器的声级测定》的规定进行

(四) 配电装置的运行维护和检修试验

1. 配电装置的运行维护 如表 ZY13-9 所示。

表 ZY13-9 配电装置的运行维护

序号	项目	说明
1	运行维护的一般要求	<ul style="list-style-type: none"> ① 有人值班的变配电所应每班或每天进行外部检查一次 ② 无人值班的变配电所应至少每月检查一次。如遇短路引起开关跳闸或其它特殊情况(如雷击时),应对设备进行特别检查
2	巡视检查项目	<ul style="list-style-type: none"> ① 由母线及接头的外观或其温度指示装置(如变色漆、示温蜡等)的指示,检查母线及接头的温度是否超出允许值 ② 开关电器中的绝缘油颜色和油位是否正常,有无漏油现象,油位指示器有无破损 ③ 绝缘瓷瓶是否脏污、破损,有无放电痕迹 ④ 电缆及其接头(终端头)有无漏油及其它异常现象 ⑤ 熔断器的熔体是否熔断,熔管有无破损和放电痕迹 ⑥ 二次系统的设备如仪表、继电器等的工作是否正常 ⑦ 接地装置及 PE 线或 PEN 线的连接处有无松脱或断线的情况 ⑧ 整个配电装置的运行状态是否符合当时的运行要求,停电检修部分有没有在其电源侧断开的开关操作手柄处悬挂“禁止合闸,有人工作!”之类的标示牌,有没有装设必要的遮栏和临时接地线 ⑨ 高低压配电室的通风、照明及安全防护装置是否正常 ⑩ 配电装置本身及周围环境有无影响安全运行的异物(如易燃、易爆物体等)和异常现象 <p>在巡视中发现的异常情况,应记入专用记录簿内;重要情况应及时汇报上级,请示处理</p>

2. 配电装置的检修试验 如表 ZY13-10 所示。

表 ZY13-10 配电装置的检修与试验

序号	项目	说明
1	配电装置的检修	
1.1	配电装置的大修(内部检修)	<ul style="list-style-type: none"> ① 高压断路器及其操动机构,每 3 年至少 1 次,低压断路器及其操动机构,每 2 年至少 1 次。高低压断路器在断开 4 次短路故障后要进行临时性检修,但根据运行情况并经有关领导批准,可适当增减此项断开短路次数 ② 高压隔离开关的操动机构,每 3 年至少 1 次 ③ 配电装置其它设备的大修期限,按预防性试验和检查的结果而定
1.2	配电装置的小修	小修以检查操动机构动作和绝缘状况为主,一般是每年至少 1 次

(续)

序号	项目	说明																																																																																																																																																																																											
2	配电装置的试验 (据 GB 50150—91)	<p>① 高压电气设备绝缘的工频耐压试验电压标准, 如下表 1 所示</p> <p style="text-align: center;">表 1 高压电气设备绝缘的工频耐压试验电压标准</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">额定电压/kV</th> <th>3</th> <th>6</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> <th>35</th> <th>66</th> <th>110</th> <th>220</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="12" style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">工 频 耐 受 电 压 有 效 值 /kV</td> <td rowspan="2">断路器、电流互感器</td> <td>出厂</td> <td>18</td> <td>23</td> <td>30</td> <td>40</td> <td>50</td> <td>80</td> <td>140</td> <td>185</td> <td>395</td> </tr> <tr> <td>交接</td> <td>16</td> <td>21</td> <td>27</td> <td>36</td> <td>45</td> <td>72</td> <td>126</td> <td>180</td> <td>356</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">电压互感器</td> <td>出厂</td> <td>18</td> <td>23</td> <td>30</td> <td>40</td> <td>50</td> <td>80</td> <td>140</td> <td>200</td> <td>395</td> </tr> <tr> <td>交接</td> <td>16</td> <td>21</td> <td>27</td> <td>36</td> <td>45</td> <td>72</td> <td>126</td> <td>180</td> <td>356</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">并联电抗器</td> <td>出厂</td> <td>18</td> <td>25</td> <td>35</td> <td>45</td> <td>55</td> <td>85</td> <td>140</td> <td>200</td> <td>395</td> </tr> <tr> <td>交接</td> <td>15</td> <td>21</td> <td>30</td> <td>38</td> <td>47</td> <td>72</td> <td>120</td> <td>170</td> <td>335</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">干式电抗器</td> <td>出厂</td> <td>18</td> <td>23</td> <td>30</td> <td>40</td> <td>50</td> <td>80</td> <td>140</td> <td>185</td> <td>395</td> </tr> <tr> <td>交接</td> <td>18</td> <td>23</td> <td>30</td> <td>40</td> <td>50</td> <td>80</td> <td>140</td> <td>185</td> <td>395</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">隔离开关、支柱绝缘子</td> <td>出厂</td> <td>25</td> <td>32</td> <td>42</td> <td>57</td> <td>68</td> <td>100</td> <td>165</td> <td>265</td> <td>450</td> </tr> <tr> <td>交接</td> <td>25</td> <td>32</td> <td>42</td> <td>57</td> <td>68</td> <td>100</td> <td>165</td> <td>265</td> <td>450</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">穿 墙 套 管</td> <td rowspan="2">纯瓷、充油绝缘</td> <td>出厂</td> <td>18</td> <td>23</td> <td>30</td> <td>40</td> <td>50</td> <td>80</td> <td>140</td> <td>185</td> <td>360</td> </tr> <tr> <td>交接</td> <td>18</td> <td>23</td> <td>30</td> <td>40</td> <td>50</td> <td>80</td> <td>140</td> <td>185</td> <td>360</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">固体有机绝缘</td> <td>出厂</td> <td>18</td> <td>23</td> <td>30</td> <td>40</td> <td>50</td> <td>80</td> <td>140</td> <td>185</td> <td>360</td> </tr> <tr> <td>交接</td> <td>16</td> <td>21</td> <td>27</td> <td>36</td> <td>45</td> <td>72</td> <td>126</td> <td>180</td> <td>356</td> </tr> </tbody> </table> <p>② 高压断路器的交流耐压试验要求:</p> <ol style="list-style-type: none"> a. 断路器的交流耐压试验应在合闸状态下进行 b. 35kV 及以下的断路器应按相间及对地进行耐压试验 c. 对 35kV 及以下户内少油断路器及联络用的断路器, 可在分闸状态下进行断口耐压试验 <p>③ 高压隔离开关、负荷开关及高压熔断器的交流耐压试验要求:</p> <ol style="list-style-type: none"> a. 三相同一箱体的负荷开关, 应按相间及相对地进行耐压试验, 试验电压应符合表 1 中“断路器”的规定; 对负荷开还应按产品技术条件规定进行每个断口的交流耐压试验 b. 其余的负荷开关及隔离开关、高压熔断器, 均按相对地或外壳对地进行交流耐压试验 <p>④ 互感器的交流耐压试验要求:</p> <ol style="list-style-type: none"> a. 全绝缘互感器应按表 1 规定进行一次绕组连同套管对外壳的交流耐压试验 b. 二次绕组之间及其对外壳的工频耐压试验电压标准应为 2000V <p>⑤ 电抗器及消弧线圈的交流耐压试验要求:</p> <ol style="list-style-type: none"> a. 额定电压在 110kV 以下的消弧线圈、干式或油浸式电抗器均应将绕组连同套管进行交流耐压试验 b. 对分级绝缘的耐压试验电压标准, 应按接地端或其末端绝缘的电压等级来进行 <p>⑥ 并联电容器的交流耐压试验要求:</p> <ol style="list-style-type: none"> a. 并联电容器电极对外壳交流耐压试验电压值应符合下面表 2 的规定 b. 当产品出厂试验电压值不符合表 2 的规定时, 交接试验电压应按产品出厂试验电压值的 75% 进行 <p style="text-align: center;">表 2 并联电容器交流耐压试验电压标准</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>额定电压/kV</th> <th><1</th> <th>1</th> <th>3</th> <th>6</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> <th>35</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>出厂试验电压/kV</td> <td>3</td> <td>5</td> <td>18</td> <td>25</td> <td>35</td> <td>45</td> <td>55</td> <td>85</td> </tr> <tr> <td>交接试验电压/kV</td> <td>2.2</td> <td>3.8</td> <td>14</td> <td>19</td> <td>26</td> <td>34</td> <td>41</td> <td>63</td> </tr> </tbody> </table> <p>⑦ 低压电器、低压配电装置及二次回路的交流耐压试验要求:</p> <p>试验电压为 1000V。当回路绝缘电阻值在 10MΩ 以上时, 可采用 2500V 兆欧表代替, 试验持续时间为 1min</p>	额定电压/kV		3	6	10	15	20	35	66	110	220	工 频 耐 受 电 压 有 效 值 /kV	断路器、电流互感器	出厂	18	23	30	40	50	80	140	185	395	交接	16	21	27	36	45	72	126	180	356	电压互感器	出厂	18	23	30	40	50	80	140	200	395	交接	16	21	27	36	45	72	126	180	356	并联电抗器	出厂	18	25	35	45	55	85	140	200	395	交接	15	21	30	38	47	72	120	170	335	干式电抗器	出厂	18	23	30	40	50	80	140	185	395	交接	18	23	30	40	50	80	140	185	395	隔离开关、支柱绝缘子	出厂	25	32	42	57	68	100	165	265	450	交接	25	32	42	57	68	100	165	265	450	穿 墙 套 管	纯瓷、充油绝缘	出厂	18	23	30	40	50	80	140	185	360	交接	18	23	30	40	50	80	140	185	360	固体有机绝缘	出厂	18	23	30	40	50	80	140	185	360	交接	16	21	27	36	45	72	126	180	356	额定电压/kV	<1	1	3	6	10	15	20	35	出厂试验电压/kV	3	5	18	25	35	45	55	85	交接试验电压/kV	2.2	3.8	14	19	26	34	41	63
额定电压/kV		3	6	10	15	20	35	66	110	220																																																																																																																																																																																			
工 频 耐 受 电 压 有 效 值 /kV	断路器、电流互感器	出厂	18	23	30	40	50	80	140	185	395																																																																																																																																																																																		
		交接	16	21	27	36	45	72	126	180	356																																																																																																																																																																																		
	电压互感器	出厂	18	23	30	40	50	80	140	200	395																																																																																																																																																																																		
		交接	16	21	27	36	45	72	126	180	356																																																																																																																																																																																		
	并联电抗器	出厂	18	25	35	45	55	85	140	200	395																																																																																																																																																																																		
		交接	15	21	30	38	47	72	120	170	335																																																																																																																																																																																		
	干式电抗器	出厂	18	23	30	40	50	80	140	185	395																																																																																																																																																																																		
		交接	18	23	30	40	50	80	140	185	395																																																																																																																																																																																		
	隔离开关、支柱绝缘子	出厂	25	32	42	57	68	100	165	265	450																																																																																																																																																																																		
		交接	25	32	42	57	68	100	165	265	450																																																																																																																																																																																		
	穿 墙 套 管	纯瓷、充油绝缘	出厂	18	23	30	40	50	80	140	185	360																																																																																																																																																																																	
			交接	18	23	30	40	50	80	140	185	360																																																																																																																																																																																	
固体有机绝缘		出厂	18	23	30	40	50	80	140	185	360																																																																																																																																																																																		
		交接	16	21	27	36	45	72	126	180	356																																																																																																																																																																																		
额定电压/kV	<1	1	3	6	10	15	20	35																																																																																																																																																																																					
出厂试验电压/kV	3	5	18	25	35	45	55	85																																																																																																																																																																																					
交接试验电压/kV	2.2	3.8	14	19	26	34	41	63																																																																																																																																																																																					
2.1	高低压电气设备绝缘工频耐压试验电压标准及试验要求																																																																																																																																																																																												

(续)

序号	项 目	说 明															
2.2	低压电器、低压配电装置及二次回路的绝缘电阻测量要求	<p>① 低压电器的绝缘电阻要求：连同所连接的电缆及二次回路的绝缘电阻值，不应小于 $1M\Omega$；在比较潮湿的地方，可不小于 $0.5M\Omega$</p> <p>② 低压配电装置的绝缘电阻要求：不应小于 $0.5M\Omega$</p> <p>③ 二次回路的绝缘电阻要求：</p> <p>a. 小母线在断开所有其它并联支路时，不应小于 $10M\Omega$</p> <p>b. 二次回路的每一支路及断路器、隔离开关的操动机构的电源回路等，均不应小于 $1M\Omega$；在比较潮湿的地方，可不小于 $0.5M\Omega$</p>															
2.3	高压用有机物绝缘拉杆的绝缘电阻标准	<p>断路器及隔离开关、负荷开关和高压熔断器的由有机物制成的绝缘拉杆的绝缘电阻值在常温下不应低于下表的规定</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="5">有机物绝缘拉杆的绝缘电阻标准</th> </tr> <tr> <th>额定电压/kV</th> <td>3~15</td> <td>20~35</td> <td>66~220</td> <td>330~500</td> </tr> <tr> <th>绝缘电阻值/$M\Omega$</th> <td>1200</td> <td>3000</td> <td>6000</td> <td>10000</td> </tr> </thead></table>	有机物绝缘拉杆的绝缘电阻标准					额定电压/kV	3~15	20~35	66~220	330~500	绝缘电阻值/ $M\Omega$	1200	3000	6000	10000
有机物绝缘拉杆的绝缘电阻标准																	
额定电压/kV	3~15	20~35	66~220	330~500													
绝缘电阻值/ $M\Omega$	1200	3000	6000	10000													
2.4	绝缘油的试验要求	<p>充油设备的绝缘油试验标准，如表 ZY13-8 序号 13 的表 1 所示，其中凝点，对户外断路器、油浸电容式套管及互感器用油的规定为：</p> <p>① 气温不低于 $-5^{\circ}C$ 的地区，凝点不应高于 $-10^{\circ}C$，即起码应采用 DB-10 油</p> <p>② 气温不低于 $-20^{\circ}C$ 的地区，凝点不应高于 $-25^{\circ}C$，即起码应采用 DB-25 油</p> <p>③ 气温低于 $-20^{\circ}C$ 的地区，凝点不应高于 $-45^{\circ}C$，即应采用 DB-45 油</p>															
2.5	高压断路器分合闸的同期性	应符合产品技术条件的规定															
2.6	高压断路器分、合闸线圈及合闸接触器线圈的绝缘电阻要求	分、合闸线圈及合闸接触器线圈的绝缘电阻值，不应低于 $10M\Omega$ ；直流电阻值与产品出厂试验值相比应无明显差别															
2.7	高压断路器操动机构的试验	<p>① 合闸操作：</p> <p>a. 当操作电压、液压在下面表 1 所列范围内时，操动机构应可靠动作</p> <p style="text-align: center;">表 1 断路器操动机构合闸操作试验电压、液压范围</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2">电 压</th> <th rowspan="2">液 压</th> </tr> <tr> <th>直 流</th> <th>交 流</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$(85\% \sim 110\%) U_N$</td> <td>$(85\% \sim 110\%) U_N$</td> <td>按产品规定的最低及最高值</td> </tr> </tbody> </table> <p>备注：对电磁机构，当断路器关合电流峰值小于 $50kA$ 时，直流操作电压范围为 $(80\% \sim 110\%) U_N$，U_N 为电源额定电压</p> <p>b. 弹簧、液压操动机构的合闸线圈以及电磁操动机构的合闸接触器的动作要求，均应符合表 1 的规定</p> <p>② 脱扣操作：</p> <p>a. 直流或交流的分闸电磁铁，在其线圈端钮处测得的电压大于额定值的 65% 时，应可靠地分闸；当此电压小于额定值的 30% 时，不应分闸</p> <p>b. 附装失压脱扣器的，其动作特性应符合表 2 的规定</p>	电 压		液 压	直 流	交 流	$(85\% \sim 110\%) U_N$	$(85\% \sim 110\%) U_N$	按产品规定的最低及最高值							
电 压		液 压															
直 流	交 流																
$(85\% \sim 110\%) U_N$	$(85\% \sim 110\%) U_N$	按产品规定的最低及最高值															

(续)

序号	项目	说 明																						
2.7	高压断路器操 动机构的试验	表 2 附装失压脱扣器的脱扣试验																						
		<table border="1"> <tr> <td>电源电压与额定电源电压的比值</td> <td>小于 85%*</td> <td>大于 85%</td> <td>大于 85%</td> </tr> <tr> <td>失压脱扣器的工作状态</td> <td>铁心应可靠地释放</td> <td>铁心不得释放</td> <td>铁心应可靠地吸合</td> </tr> </table>	电源电压与额定电源电压的比值	小于 85%*	大于 85%	大于 85%	失压脱扣器的工作状态	铁心应可靠地释放	铁心不得释放	铁心应可靠地吸合														
		电源电压与额定电源电压的比值	小于 85%*	大于 85%	大于 85%																			
		失压脱扣器的工作状态	铁心应可靠地释放	铁心不得释放	铁心应可靠地吸合																			
		备注	* 当电压缓慢下降至规定比值时, 铁心应可靠地释放																					
			c. 附装过流脱扣器的, 其额定电流规定不小于 2.5A, 脱扣电流的等级范围及其准确度, 应符合表 3 的规定																					
			表 3 附装过流脱扣器的脱扣试验																					
			<table border="1"> <tr> <td>过流脱扣器的种类</td> <td>延时动作的</td> <td>瞬时动作的</td> </tr> <tr> <td>脱扣电流等级范围/A</td> <td>2.5~10</td> <td>2.5~15</td> </tr> <tr> <td>每级脱扣电流的准确度</td> <td colspan="2">±10%</td> </tr> <tr> <td>同一级扣器各级脱扣电流准确度</td> <td colspan="2">±5%</td> </tr> </table>	过流脱扣器的种类	延时动作的	瞬时动作的	脱扣电流等级范围/A	2.5~10	2.5~15	每级脱扣电流的准确度	±10%		同一级扣器各级脱扣电流准确度	±5%										
		过流脱扣器的种类	延时动作的	瞬时动作的																				
		脱扣电流等级范围/A	2.5~10	2.5~15																				
		每级脱扣电流的准确度	±10%																					
		同一级扣器各级脱扣电流准确度	±5%																					
		备注	对于延时动作的过流脱扣器, 应按制造厂提供的脱扣电流与动作延时的关系曲线进行核对, 另外, 还应检查在预定延时终了前主回路电流降至返回值时, 脱扣器不应动作																					
			③ 模拟操动试验:																					
			a. 当具有可调电源时, 可在不同电压、液压条件下, 对断路器进行就地或远控操作, 每次操作断路器均应正确、可靠地动作, 其联锁及机械闭锁回路的动作应符合产品及设计要求。当无可调电源时, 只在额定电压下进行试验																					
			b. 直流电磁或弹簧机构的操动试验, 应按表 4 的规定进行; 液压机构的操动试验, 应按表 5 的规定进行																					
			表 4 直流电磁或弹簧机构的操动试验																					
			<table border="1"> <tr> <th>操作类别</th> <th>操作线圈端电压与额定电源电压的比值 (%)</th> <th>操作次数</th> </tr> <tr> <td>合、分</td> <td>110</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>合闸</td> <td>85 (80)</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>分闸</td> <td>65</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>合、分、重合</td> <td>100</td> <td>3</td> </tr> </table>	操作类别	操作线圈端电压与额定电源电压的比值 (%)	操作次数	合、分	110	3	合闸	85 (80)	3	分闸	65	3	合、分、重合	100	3						
		操作类别	操作线圈端电压与额定电源电压的比值 (%)	操作次数																				
		合、分	110	3																				
合闸	85 (80)	3																						
分闸	65	3																						
合、分、重合	100	3																						
	备注 括号内数字适用于装有自动重合闸装置的断路器及表 1 “备注” 所述的情况																							
	表 5 液压机构的操动试验																							
	<table border="1"> <tr> <th>操作类别</th> <th>操作线圈端电压与额定电源电压的比值 (%)</th> <th>操作压力</th> <th>操作次数</th> </tr> <tr> <td>合、分</td> <td>110</td> <td>产品规定的最高操作压力</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>合、分</td> <td>100</td> <td>额定操作压力</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>合</td> <td>85 (80)</td> <td rowspan="2">产品规定的最低操作压力</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>分</td> <td>65</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>合、分、重合</td> <td>100</td> <td></td> <td>3</td> </tr> </table>	操作类别	操作线圈端电压与额定电源电压的比值 (%)	操作压力	操作次数	合、分	110	产品规定的最高操作压力	3	合、分	100	额定操作压力	3	合	85 (80)	产品规定的最低操作压力	3	分	65	3	合、分、重合	100		3
操作类别	操作线圈端电压与额定电源电压的比值 (%)	操作压力	操作次数																					
合、分	110	产品规定的最高操作压力	3																					
合、分	100	额定操作压力	3																					
合	85 (80)	产品规定的最低操作压力	3																					
分	65		3																					
合、分、重合	100		3																					
	备注	① 括号内数字适用于装有自动重合闸装置的断路器 ② 模拟操动试验应在液压的自动控制回路能准确、可靠动作状态下进行 ③ 操动时, 液压的压力允许值应符合产品技术条件的规定																						

(五) 电力线路的运行维护和检修试验

1. 电力线路的运行维护 如表 ZY13-11 所示。

表 ZY13-11 电力线路的运行维护

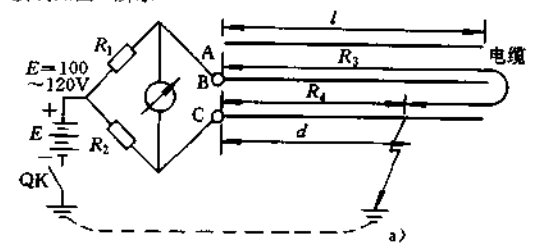
序号	项目	说 明
1	架空线路的运行维护	
1.1	一般要求	一般是每月进行一次巡视检查。如遇大风大雨及发生故障等特殊情况时,得临时增加巡视次数
1.2	巡视检查项目	<p>① 电杆有无倾斜、变形、腐朽、损坏及基础下沉等现象,如有时,应设法修理</p> <p>② 沿线路的地面是否堆放有易燃、易爆和强腐蚀性物体,如有时,应立即设法挪开</p> <p>③ 沿线路周围,有无危险建筑物,应尽可能保证在雷雨季节和大风季节里,这些建筑物不致对线路造成损坏</p> <p>④ 线路上有无树枝、风筝等杂物悬挂如有时,应设法消除</p> <p>⑤ 拉线和扳桩是否完好,绑扎线是否紧固可靠,如有毛病时,应设法修理或更换</p> <p>⑥ 导线的接头是否接触良好,有无过热发红、严重氧化、腐蚀或断脱现象,绝缘子有无破损和放电现象等,如有时,应设法修理或更换</p> <p>⑦ 防雷装置的接地是否良好,接地线有无锈断情况;在雷雨季节到来之前,应重点检查,以确保防雷安全</p> <p>⑧ 其它危及线路安全运行的异常情况</p> <p>在巡视中发现的异常情况,应记入专用记录簿内;重要情况应及时汇报上级,请示处理</p>
2	电缆线路的运行维护	
2.1	一般要求	一般要求每季进行一次巡视检查,并应经常监视其负荷大小和发热情况。如遇大雨、洪水及地震等特殊情况及发生故障时,得临时增加巡视次数
2.2	巡视检查项目	<p>① 电缆终端头及瓷套管有无破损及放电痕迹,对填充有电缆胶(或油)的电缆头,还应检查有无漏油溢胶现象</p> <p>② 对明敷电缆,还须检查电缆外皮有无锈蚀、损伤,沿线挂钩或支架有无脱落,线路上及附近有无堆放易燃易爆及强腐蚀性物体</p> <p>③ 对暗敷及埋地电缆,应检查沿线的盖板和其它覆盖物是否完好,有无挖掘痕迹,路线标桩是否完整无缺</p> <p>④ 电缆沟内有无积水或渗水现象,是否堆有杂物及易燃易爆物品</p> <p>⑤ 线路上各种接地是否良好,有无松动、断股和蚀断现象</p> <p>⑥ 其它危及电缆安全运行的异常情况</p> <p>在巡视中发现的异常情况,应记入专用记录簿内,重要情况应及时汇报上级,请示处理</p>
3	车间配电线路的运行维护	
3.1	一般要求	要搞好车间配电线路的运行维护工作,必须全面了解车间配电线路的布线情况、结构形式、导线型号规格及配电箱和开关、保护装置的位置等,并了解车间负荷的要求、大小及车间变电所的有关情况。当车间有专用的维修电工时,车间配电线路一般要求每周进行一次巡视检查

(续)

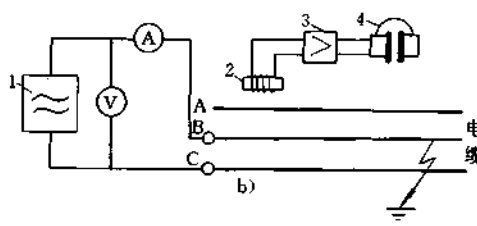
序号	项目	说明
3.2	巡视检查项目	① 检查导线的发热情况,特别是接头处 ② 检查线路的负荷情况,一般用钳形电流表来测量运行线路的负荷电流 ③ 检查配电箱、开关、熔断器、母线槽及接地保护装置等的运行情况,特别是母线接头、电器端钮等处 ④ 检查线路上和线路周围有无影响线路安全运行的异常情况。绝对禁止在绝缘导线上悬挂物件,禁止在线路近旁堆放易燃易爆物体 ⑤ 对敷设在潮湿、有腐蚀性物质场所的线路和设备,要作定期的绝缘检查,绝缘电阻一般不得低于 $0.5M\Omega$ 在巡视中发现的异常情况,应记入专用记录簿内;重要情况应及时汇报上级,请示处理

2. 电力线路的检修试验 如表 ZY13-12 所示。

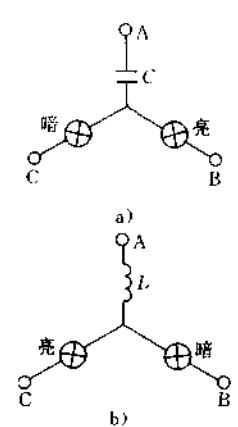
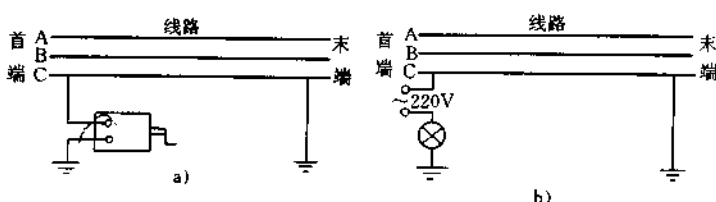
表 ZY13-12 电力线路的检修与试验

序号	项目	说明																	
1	电力线路的检修																		
1.1	线路检修的方式	分停电检修和不停电检修两种。不停电检修对保证电力系统的可靠供电、减少停电损失有很大的意义。但对一般工厂企业的供电系统来说,一般采用停电检修。计划性的停电检修,应事前通知用户,以使用户安排好工作、生产和生活																	
1.2	架空线路的检修	① 架空线路导线的检修要求,如下表所示 导线的检修要求 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>导线类型</th> <th>单一金属线</th> <th>钢芯铝绞线</th> <th>检修方法</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">导线缺陷</td> <td>磨损</td> <td>磨损</td> <td>不作处理</td> </tr> <tr> <td>截面 7% 以下断股</td> <td>铝线 7% 以下断股</td> <td>缠绕</td> </tr> <tr> <td>截面 7%~17% 断股</td> <td>铝线 7%~25% 断股</td> <td>补修</td> </tr> <tr> <td>截面 17% 以上断股</td> <td>铝线 25% 以上断股</td> <td>锯断重接</td> </tr> </tbody> </table> ② 架空线路电杆的检修:如电杆受损使其断面缩减至原截面的 50% 以下时,应立即补修或加绑桩,损坏严重时,应予换杆	导线类型	单一金属线	钢芯铝绞线	检修方法	导线缺陷	磨损	磨损	不作处理	截面 7% 以下断股	铝线 7% 以下断股	缠绕	截面 7%~17% 断股	铝线 7%~25% 断股	补修	截面 17% 以上断股	铝线 25% 以上断股	锯断重接
导线类型	单一金属线	钢芯铝绞线	检修方法																
导线缺陷	磨损	磨损	不作处理																
	截面 7% 以下断股	铝线 7% 以下断股	缠绕																
	截面 7%~17% 断股	铝线 7%~25% 断股	补修																
	截面 17% 以上断股	铝线 25% 以上断股	锯断重接																
1.3	电缆线路的检修	① 电缆线路的故障,大多发生在电缆的中间接头和终端头,而且常见的毛病是漏油(在采用油浸纸绝缘电缆时)。如果电缆头漏油严重或放电时,应立即停电检修,通常是重作电缆头 ② 电缆本身发生短路或断线故障,通常需借助一定的测量仪器和测量方法,首先探测其故障点。通常采用低阻法来探测其故障点。低阻法一般要经过烧穿、粗测和定点三道程序。 a. 烧穿:利用高电压使故障点烧穿变为低阻。b. 粗测:采用直流单臂电桥(回路法)来粗测故障点位置,接线如图 a 所示 																	

(续)

序号	项目	说明
1.3	电缆桥路的检修	<p>当电桥平衡时, $R_1 + R_2 = R_3 + R_4$, 或 $(R_1 + R_2) : R_2 = (R_3 + R_4) : R_4$。设电缆长度为 l, 电缆首端至故障点距离为 d, 则 $R_3 + R_4 \triangleq 2l$, $R_4 \triangleq d$ (符号 \triangleq 为“相当于”, 参看表 JC1-2 序号 11.4), 因此 $(R_1 + R_2) : R_2 = 2l/d$, 由此可求出电缆首端到故障点的距离为</p> $d = 2lR_2 / (R_1 + R_2)$ <p>由于电阻测量不可能十分精确, 因此按此法确定的故障点只是大致位置</p> <p>c. 定点: 这是比较精确地确定电缆的故障点。通常采用音频感应法或电容放电声测法。图 b 所示为音频感应法探测电缆故障点的接线图。在故障点上方, 探测线圈内感应出的音频信号电流最强, 经放大, 传送到耳机中去, 由此可确定地下电缆的故障点</p>  <p>1—音频信号发生器 2—探测线圈 3—接收放大器 4—耳机</p>
2	电力线路的试验 (其中序号 2.1 和 2.2 据 GB50150—91)	
2.1	1kV 以上架空电力线路试验项目	<ol style="list-style-type: none"> ① 测量绝缘子和线路的绝缘电阻 ② 测量 35kV 以上线路的工频参数 ③ 检查相位 ④ 冲击合闸试验 ⑤ 测量杆塔的接地电阻
2.2	电力电缆试验项目	<ol style="list-style-type: none"> ① 测量绝缘电阻 ② 直流耐压试验及泄漏电流测量 ③ 检查电缆线路的相位 ④ 充油电缆的绝缘油试验
2.3	线路绝缘电阻的测量	<ol style="list-style-type: none"> ① 在摇测绝缘电阻之前, 应检查沿线有无外物搭接, 线路上是否有人工作, 负荷和电源是否全部断开。只有在外物搭接、无人工作且电源和负荷全部断开的情况下才能摇测 ② 在摇测电缆和绝缘导线的绝缘电阻时, 应将绝缘层接到兆欧表的“保护环”(又称“屏蔽环”), 接线如表 JC7-12 序号 4.1 图所示 ③ 摇测时, 转速应均匀, 一般为 120r/min 左右 ④ 摇测后, 应使线路短路放电, 以免其充电电压伤人 ⑤ 高压线路一般采用 2500V 兆欧表摇测, 低压线路采用 1000V 兆欧表摇测

(续)

序号	项目	说明
2.4	三相线路相序的测定 (定相)	<p>可采用电容式或电感式指示灯相序表来测定</p> <p>① 电容式指示灯相序表: 接线如图 a 所示。A 相电容 C 的容抗 X_C 与 B、C 两相灯泡的阻抗值相等。此相序表接上三相电源后, 灯亮的为 B 相, 灯暗的为 C 相</p> <p>② 电感式指示灯相序表: 接线如图 b 所示。A 相电感 L 的感抗 X_L 与 B、C 两相灯泡的阻抗值相等。此相序表接上三相电源后, 灯亮的为 C 相, 灯暗的为 B 相</p> 
2.5	线路两端相位的核对 (核相)	<p>核对线路两端的相位是否一致, 方法很多, 常用的有兆欧表法和指示灯法</p> <p>① 兆欧表法: 接线如图 a 所示 如果兆欧表指示为零, 则说明末端接地的相线与首端测量的相线属同一相。如此三相轮流测量, 即可定出线路首端和末端的 A、B、C 相</p> <p>② 指示灯法: 接线如图 b 所示 如果接上电源时指示灯亮, 则说明末端接地的相线与首端接指示灯的相线属同一相。如此三相轮流测量, 即可定出线路首端和末端的 A、B、C 相</p> 

主要参考文献

- 1 刘介才编. 工厂供电 (第 2 版). 北京: 机械工业出版社, 1991
- 2 刘介才主编. 工厂供电. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 3 国家标准 GB50150—91 电气装置安装工程. 电气设备交接试验标准. 北京: 中国计划出版社, 1992
- 4 电力行业标准 DL408—91 电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分). 北京: 水利电力出版社, 1991
- 5 电力行业标准 DL/T572—95 电力变压器运行规程. 北京: 中国电力出版社, 1996
- 6 电力行业标准 DL/T573—95 电力变压器检修导则. 北京: 中国电力出版社, 1996
- 7 贺天枢, 赵叔玉主编. IEC 电工电子标准术语词典. 北京: 中国标准出版社, 1992

索 引

本索引的汉字条目，按其第一字的笔画多少和笔形顺序排列，从第二字起则只按笔形顺序排列。

索引的英文和希腊文条目，按其字母顺序排列，排在汉字条目后面。

汉字笔形顺序为：①横（一）；②竖（丨）；③撇（丿）；④点（丶、ノ、√、丶）；⑤折（一、丨、丿、L、L、乙）。

条目第一次出现的表号与表中序号之间，用前缀符号“：”表示。例如“JC1-2：3.4”，表示“表JC1-2序号3.4”。

一 画		二次回路操作电源	ZY8-2
		二次回路接线要求	ZY8-19
		二次回路安装图绘制	ZY8-20
一次元件	ZY1-1：27	二次谐波	JC6-1：103
一次光源	ZY10-1：10	二次能源	JC12-1：35
一次电路	ZY1-1：28	二次结线	ZY5-1：3
一次回路	ZY1-1：28	二次继电器	ZY7-1：14
一次系统	ZY1-1：28	二阶线性电路	JC6-18：1
一次设备	ZY1-1：29	I（二）类电气设备	ZY9-22：2
一次能源	JC12-1：34	十倍动作电流动作时间	ZY7-1：48
一次结线	ZY5-1：2	人工时效	JC5-1：55
一次继电器	ZY7-1：13	人工照明	ZY10-1：3
一段电路欧姆定律	JC6-2：1	人工接地体	ZY9-1：32
一般显色指数	ZY10-1：16	人事考核	JC13-7：21
一般照明	ZY10-1：28	人事制度	JC13-7：3
一般符号	JC4-1：52	人才开发	JC13-7：2
一阶线性电路	JC6-17：1	人体阻抗	ZY9-1：8
一级负荷	ZY2-2：1.1	刀开关	JC11-1：74
1（一）类电气设备	ZY9-1：43	刀具	JC5-1：42
乙醇	JC3-6：23	刀熔开关	ZY4-1：9
乙类功率放大器	JC8-1：62	力	JC2-1：13
二 画		力矩	JC2-1：37
二——十进制	JC8-1：72	力偶	JC2-1：38
二进制	JC8-1：71	力学基本公式	JC2-12
二元合金	JC5-1：57	力学基本定律	JC2-11
二氧化硅	JC3-6：21	几何平均数	JC1-1：22
二氧化碳	JC3-6：31	几何级数	JC1-1：69
二次元件	ZY1-1：29	三 画	
二次光源	ZY10-1：11	三元合金	JC5-1：57
二次电路	ZY1-1：30	三相正弦交流电路分析计算	JC6-10
二次回路	ZY1-1：30		

(续)

不重要负荷	ZY2-1 : 3	中间继电器	ZY7-1 : 18
不合格品	JC13-4 : 34	中断	JC9-1 : 36
不定积分	JC1-1 : 87	中断过程类别	JC9-18
不对称短路	ZY3-2 : 3	中断的过程	JC9-19
不对称短路计算	ZY3-7~9	中断源	JC9-1 : 37
不对称度	ZY1-1 : 19	中心投影法	JC4-1 : 4
“不对应原理”接线	ZY8-1 : 6	内存存储器	JC9-1 : 22
太阳热能电站	JC12-8 : 3.2	内错角	JC1-1 : 30
太阳光能电站	JC12-8 : 3.3	内心	JC1-6 : 4
太阳能电站	JC12-1 : 6	气态方程	JC2-13 : 4
区间	JC1-1 : 48	气体电介质	JC10-12
“五防”型设备	ZY4-1 : 12	气体放电光源	ZY10-1 : 14
车床	JC5-6 : 1	气体继电器	ZY7-6
车间内变电所	ZY5-8 : 2	气体继电保护	ZY7-18
车间变电所	ZY1-1 : 26	气化	JC2-1 : 48
比功率法	ZY10-37	牛顿第一定律	JC2-11 : 1
比热, 比热容	JC2-1 : 53	牛顿第二定律	JC2-11 : 2
比较法	JC6-2 : 2.2	牛顿第三定律	JC2-11 : 3
比重	JC2-1 : 16	毛坯	JC5-1 : 37
比特	JC9-1 : 39	手握式设备	ZY9-1 : 42
比例	JC4-1 : 57	长方形	JC1-1 : 36
比率表	JC7-1 : 27	化合物	JC3-1 : 9
切换	ZY7-1 : 25	化合价	JC3-1 : 61
切点	JC1-1 : 44	化合价法则	JC3-4 : 8
切削	JC5-1 : 48	化合反应	JC3-1 : 69
切削加工性	JC5-2 : 2.4	化学式	JC3-1 : 58
互感(系数)	JC6-1 : 45	化学元素周期表	JC3-2
互感器	JC11-1 : 56	化学基本定律、法则	JC3-4
瓦斯保护	ZY7-18	化学热处理	JC5-1 : 54
瓦斯继电器	ZY7-6	化学键	JC3-1 : 62
瓦时表	JC7-1 : 32	化学分析	JC3-1 : 74
瓦特表	JC7-1 : 31	化学反应, 化学变化	JC3-1 : 57
中压火电厂	JC12-4 : 4.2	化学腐蚀环境分类	ZY4-20
中性点	JC6-1 : 87	化学腐蚀性物质释放严酷度分级	ZY4-21
中性点直接接地系统	JC12-10 : 1.2	化学试剂	JC3-1 : 77
中性点有效接地系统	JC12-10 : 1.2	介电常数	JC6-1 : 36
中性点非直接接地系统	JC12-10 : 1.1	介电强度	JC10-1 : 21
中性点非有效接地系统	JC12-10 : 1.1	介质极化	JC6-1 : 34
中性导体(N导体)	JC12-1 : 46	介质损耗	JC6-1 : 35
中央信号装置	ZY8-1 : 7	介质损耗角的正切 $\tan\delta$	JC6-1 : 35
中央处理器(机)	JC9-1 : 7	分开表示法	JC4-1 : 49
中央处理器功能	JC9-12	分相电动机	JC11-1 : 23
中央处理器组成	JC9-13	分权制	JC13-1 : 45
中和反应	JC3-1 : 73	分配	JC13-1 : 18

(续)

分布式网络	JC9-1 : 94	方向过电流保护	ZY7-13
分布绕组	JC11-1 : 40	方法标准	JC13-1 : 33
分区一般照明	ZY10-1 : 29	方案图	JC4-1 : 26
分角	JC4-1 : 9	方案设计	ZY12-1 : 5
分解反应	JC3-1 : 70	火力发电厂 (火电厂)	JC12-1 : 2
分数	JC1-1 : 9	计划	JC13-1 : 25
分流器	JC7-1 : 48	计划供用电	ZY11-1 : 3
分子	JC3-1 : 3	计划预修制	JC13-5 : 22
分子式	JC3-1 : 59	计量柜	ZY5-1 : 40
分子量	JC3-1 : 65	计算机	JC9-1 : 1
公斤 (kg)	JC2-2 : 2	计算机基本结构	JC9-6
公差	JC5-1 : 70	计算机存储器	JC9-7~10
公差等级与加工方法	JC5-9	计算机辅助制造	JC9-1 : 88
公差等级应用条件	JC5-8	计算机辅助测试	JC9-1 : 90
公益金	JC13-8 : 16	计算机辅助设计	JC9-1 : 89
公司制企业	JC13-2 : 3	计算机网络	JC9-1 : 91
反三角方程	JC1-1 : 82	计算机分类	JC9-2
反三角函数	JC1-1 : 64	计算机管理系统	JC13-1 : 70
反正切	JC1-11 : 1	计算机系统	JC9-4
反正割	JC1-11 : 1	计算机系统主要技术指标	JC9-5
反正弦	JC1-11 : 1	计算机系统设计步骤	JC9-30
反相的	JC4-1 : 29	计算机系统组成	JC9-4
反时限过电流保护	ZY7-10 : 3	计算机发展演变	JC9-3
反时限特性	ZY7-1 : 46	计算电抗	ZY3-1 : 11
反射比, 反射率, 反射系数	ZY10-1 : 27	计算负荷	ZY2-1 : 4
反射系数	ZY10-1 : 27	计算阻抗	ZY3-1 : 11
反余切	JC1-11 : 1	计数器	JC8-1 : 80
反余割	JC1-11 : 1	户内变电所	ZY5-1 : 8
反余弦	JC1-11 : 1	户外变电所	ZY5-1 : 7
反馈	JC8-1 : 70	水	JC3-6 : 1
反馈类型类别	JC8-15	水工建筑物	JC12-3 : 3
反汇编	JC9-1 : 64	水轮发电机	JC11-1 : 17
反调制	JC12-1 : 32	水解反应	JC3-8 : 8
反对数运算电路	JC8-19 : 4	水库式水电站	JC12-2 : 22
反函数	JC1-1 : 54	水力发电厂 (水电站)	JC12-1 : 4
风化	JC3-1 : 36	少油断路器	JC11-1 : 77
风力电站	JC12-1 : 8	引水式水电站	JC12-2 : 1.1
勾股定理	JC1-5 : 1	尺寸	JC4-1 : 58
六氟化硫	JC3-6 : 53	队列	JC9-1 : 76
六氟化硫断路器	JC11-1 : 78	允许电压损耗	ZY6-1 : 10
文件	JC9-1 : 44	双曲线	JC1-14 : 1
方框符号	JC4-1 : 54	双曲线方程	JC1-14
方均根值	JC6-1 : 22	双回路	ZY5-1 : 19
方程 (式)	JC1-1 : 75	双稳态继电器	ZY7-1 : 16

(续)

双金属材料	JC10-1: 18	左视图	JC4-1: 15
双精度数 (量)	JC9-1: 45	右手螺旋定则	JC2-15: 8
双字长数	JC9-1: 46	右手定则	JC2-15: 7
双母线结线	ZY5-1: 5	右视图	JC4-1: 15
五 画		石英	JC3-6: 21
正三角形	JC1-1: 35	石英试纸	JC3-1: 78
正切	JC1-10: 1	石蜡	JC3-6: 22
正切定理	JC1-10: 4	布氏硬度	JC5-1: 62
正常照明	ZY10-1: 32	布尔代数	JC8-30
正电	JC6-1: 1	平面相对等照度曲线	ZY10-1: 40
正圆柱	JC1-1: 38	平面图	JC4-1: 18
正圆锥	JC1-1: 39	平面几何	JC1-6
正多边形	JC1-1: 34	平均值	JC6-1: 21
正交的	JC6-1: 28	平均负荷	ZY2-1: 6
正序	JC6-1: 72	平行, 平行线	JC1-1: 42
正序电抗	ZY3-7: 1	平行投影法	JC4-1: 5
正方形	JC1-1: 36	平角	JC1-1: 24
正数	JC1-1: 4	灭弧室, 灭弧栅	ZY4-1: 11
正火	JC11-1: 51	灭弧装置	ZY4-1: 10
正弦	JC1-10: 1	目标程序	JC9-1: 59
正弦量	JC6-1: 15	目标管理	JC13-3: 16
正弦交流电 “三要素”	JC6-9: 1	甲类功率放大器	JC8-1: 61
正弦定理	JC1-10: 4	甲乙类功率放大器	JC8-1: 63
功	JC2-1: 31	电	JC6-1: 1
功率	JC2-1: 32	电击	ZY9-1: 2
功率表	JC7-1: 31	电动机	JC11-1: 4
功率因数	JC6-1: 102	电动机的节电	ZY11-4
功率因数表	JC7-1: 36	电动势	JC6-1: 13
功率放大器	JC8-1: 59	电动系功率表	JC7-8: 7
功率放大电路	JC8-14	电动系相位表	JC7-8: 9
功能团	JC3-1: 6	电动系频率表	JC7-8: 10
功能图	JC4-1: 34	电动系电压表	JC7-8: 6
“五防”(开关柜)	ZY4-1: 12	电动系电流表	JC7-8: 3
节点	JC6-1: 81	电动系测量机构	JC7-7: 3
节点电压法	JC6-8: 3	电动效应	ZY3-1: 18
本征半导体	JC8-1: 19	电动发电机组	JC11-1: 30
丙酮	JC3-6: 24	电工玻璃	JC10-17
可控硅	JC8-1: 28	电工陶瓷	JC10-16
可见光	ZY10-2: 2	电工绝缘材料的型号编制	JC10-10
可锻铸铁	JC5-3-1.3	电功率测量	JC7-10
可靠性	ZY1-1: 4	电场	JC6-1: 3
可行性研究	ZY12-1: 6	电场强度	JC6-1: 8
左手定则	JC2-15: 6	电杆	ZY5-1: 21
		电桥	JC7-1: 39

(续)

电枢、电枢绕组	JC11-1 : 36	电热设备的节电	ZY11-6
电机	JC11-1 : 1	电抗	JC6-1 : 50
电极	JC8-1 : 11	电抗器	JC11-1 : 60
电荷 (量)	JC6-1 : 2	电荷 [量]	JC6-1 : 2
电荷守恒定律	JC2-15 : 1	电路	JC6-1 : 62
电压	JC6-1 : 10	电路过渡过程分析	JC6-16~18
电压表	JC7-1 : 29	电路图	JC4-1 : 35
电压互感器	JC11-1 : 58	电器	JC11-1 : 2
电压损耗	ZY1-1 : 18	电器的类型	JC11-20
电压速断保护	ZY7-12	电网, 电力网 (络)	JC12-1 : 17
电压偏差	ZY1-1 : 10	电气工作安全保证的组织措施和技术措施	ZY9-6
电压偏差允许值	ZY1-6 : 1	电气事故	ZY9-1 : 1
电压质量	ZY1-1 : 9	电气辅助文字符号	JC4-24
电压闪变	ZY1-1 : 12	电气技术项目代号	JC4-22
电压测量	JC7-9 : 34	电气照明	ZY10-1 : 4
电压波动	ZY1-1 : 11	电气照明的节电	ZY11-7
电压波动允许值	ZY1-8 : 1	电气图形符号	JC4-20
电压谐振	JC6-11 : 8	电气图形符号的使用和派生	JC4-21
电压降	ZY1-1 : 17	电气制图方法	JC4-25~28
电感	JC6-1 : 46	电气装置	JC11-1 : 5
电感和感抗计算	JC6-4	电气装置接地与接零要求	ZY9-12
电感测量	JC7-13 : 1	电气装置接地与接零类型	ZY9-11
电磁式时间继电器	ZY7-5 : 2	电气安全的一般措施	ZY9-2
电磁式电流继电器	ZY7-5 : 1	电气设备	JC11-1 : 6
电磁式中间继电器	ZY7-5 : 3	电气设备的选择校验条件	ZY4-1 : 13、14
电磁式信号继电器	ZY7-5 : 4	电气设备文字符号	JC4-23
电磁式继电器	ZY7-1 : 5	电气设备额定电压	JC11-24~27
电磁起动器	JC11-1 : 85	电气设备额定电流	JC11-28
电磁场	JC6-1 : 6	电气设备额定频率	JC11-29
电磁振荡	JC6-105	电气设备外壳防护等级	JC11-30
电磁感应	JC6-1 : 7	电气强度	JC10-1 : 21
电磁接触器	JC11-1 : 84	电气隔离	ZY9-1 : 44
电磁铁吸力计算	JC6-22	电气继电器	JC11-1 : 86
电磁系电压表	JC7-8 : 5	电气绝缘工具试验要求	ZY9-9
电磁系电流表	JC7-8 : 2	电镀	JC3-1 : 49
电磁系测量机构	JC7-7 : 2	电位	JC6-1 : 9
电磁波	JC6-1 : 7	电位器	JC8-1 : 86
电磁学基本定律、定则及公式	JC2-15	电位差	JC4-1 : 10
电磁线	JC10-1 : 12	电位差计	JC7-1 : 40
电磁线型号、特点	JC10-4	电介质	JC3-1 : 46
电磁纯铁牌号、成分	JC10-7	电解	JC3-1 : 48
电平	JC8-1 : 58	电解质	JC3-1 : 45
电势	JC6-1 : 9	电离	JC3-1 : 47
电热材料	JC10-1 : 15		

(续)

电离方程式	JC3-1 : 68	电力变压器型号编制	JC11-15
电源	JC6-1 : 12	电力变压器类型	JC11-12
电流, 电流强度	JC6-1 : 11	电力变压器结构原理	JC11-13
电流表	JC7-1 : 28	电力定量器	ZY8-1 : 14
电流速断保护	ZY7-11	电力线	JC6-1 : 3
电流互感器	JC11-1 : 57	电能测量	JC7-11
电流测量	JC7-9 : 1.2	电能计量仪表	ZY8-1 : 12
电流计	JC7-1 : 26	电子元件	JC8-1 : 1
电流谐振	JC6-11 : 8	电子器件	JC8-1 : 4
电池	JC3-1 : 51	电子元器件型号编制	JC8-2
电容	JC6-1 : 47	电子电路	JC8-1 : 35
电容电动机	JC11-1 : 24	电子束管	JC8-1 : 6
电容器	JC11-1 : 62	电子管	JC8-1 : 5
电容和容抗计算	JC6-5	电子导电	JC8-1 : 17
电容率	JC6-1 : 36	电子计算机	JC9-1 : 1
电容测量	JC7-13 : 2	电缆	ZY5-1 : 30
电焊机的节电	ZY11-5	电缆支架	ZY5-1 : 33
电屏蔽	JC7-1 : 45	电缆桥架	ZY5-1 : 34
电刷	JC10-1 : 13	电缆芯线的材质及其适用范围	ZY6-9
电阻	JC6-1 : 40	电缆芯数及其适用范围	ZY6-10
电阻材料	JC10-1 : 14	电缆接头	ZY5-1 : 32
电阻率, 电阻系数	JC6-1 : 41	电缆敷设方式与要求	ZY5-29~33
电阻温度系数	JC10-1 : 2	电缆外护层型号	ZY6-12
电阻测量	JC7-12	电缆终端头	ZY5-1 : 31
电阻计算	JC6-3	生铁	JC3-5 : 3
电力电容器	JC11-1 : 63	生产	JC13-1 : 16
电力电子电路	JC8-1 : 43	生产成本	JC13-8 : 8
电力电缆型号	ZY6-8	生产过程	JC5-1 : 34
电力负荷, 电力负载	ZY2-1 : 1	生产技术规程	JC13-1 : 38
电力负荷对供电电源的要求	ZY2-5	生产周期	JC13-4 : 16
电力系统	JC12-1 : 15	生产手段	JC13-1 : 6
电力系统远动	JC12-1 : 30	生产管理	JC13-1 : 50
电力系统运行	JC12-1 : 26	生产关系	JC13-1 : 12
电力系统中性点	JC12-1 : 25	生产资料	JC13-1 : 6
电力系统中性点直接接地	JC12-10 : 1.2	生产能力	JC13-4 : 10
电力系统中性点非直接接地	JC12-10 : 1.1	生产调度	JC13-4 : 20
电力系统中性点有效接地	JC12-10 : 1.2	矢量	JC1-1 : 98
电力系统中性点非有效接地	JC12-10 : 1.1	矢量积	JC1-1 : 100
电力系统中性点经消弧线圈接地	JC12-10 : 3	矢量代数运算公式	JC1-34
电力系统振荡	JC12-1 : 29	矢量微分算子	JC1-35 : 1
电力系统稳定	JC12-1 : 28	代数式	JC1-1 : 73
电力系统自动重合闸装置	ZY8-15	代数公式	JC1-3
电力系统调度	JC12-1 : 27	代数方程	JC1-1 : 76
电力变压器	JC11-1 : 49	代数函数	JC1-1 : 59

(续)

动力系统	JC12-1 : 16	有限责任公司	JC13-2 : 5
动能	JC2-1 : 34	有限容量系统	ZY3-1 : 13
动能定理	JC2-12 : 4	存储器	JC9-1 : 20
地址	JC9-1 : 18	存货	JC13-8 : 4
地下式水电站	JC12-2 : 4.2	压电材料	JC10-1 : 20
地下热能发电站, 地热电站	JC12-1 : 7	压敏避雷器, 压敏电阻	ZY9-1 : 64
地下变电所	ZY5-1 : 10	压力	JC2-1 : 41
地面式水电站	JC12-2 : 4.1	压水堆型核电站	JC12-6、7
场	JC2-1 : 3	压强	JC2-1 : 42
场效应晶体管	JC8-1 : 10	后备保护	ZY7-1 : 34
共模抑制	JC8-1 : 55	死区	ZY7-11 : 3
共模信号	JC8-1 : 54	死循环	JC9-1 : 62
共轭复数	JC1-1 : 18	列车电站	JC12-1 : 11
共价键	JC3-1 : 62	列向量	JC1-1 : 96
共射电路、共基电路、共集电路比较	JC8-9	列矩阵	JC1-1 : 96
机械图样公差标注	JC4-15	成盐反应	JC3-8 : 9
机械图样尺寸标注	JC4-14	成品	JC5-1 : 39
机械制图表达方法适用范围	JC4-12	成组生产	JC13-4 : 6
机械制图剖面符号	JC4-10	灰铸铁	JC5-3 : 1.3
机械制图视图和剖视图	JC4-11	夹具	JC5-1 : 44
机械特性	JC11-1 : 46	扩散	JC2-1 : 45
机械传动	JC5-1 : 16	过电压	ZY9-1 : 12
机械混合物	JC5-1 : 6	过电压的类型	ZY9-23
机械能	JC2-1 : 36	过电压保护	ZY9-1 : 49
机构	JC5-1 : 2	过电压保护器	ZY9-1 : 58
机电式继电器	ZY7-1 : 4	过电流保护	ZY7-10
机器	JC5-1 : 3	过负荷保护	ZY7-20
机器指令	JC9-1 : 16	光	JC2-1 : 56
机床	JC5-1 : 4	光标	JC9-1 : 33
机床型号编制	JC5-5	光速	JC2-1.57
机组	JC5-1 : 5	光照性能 (物体)	ZY10-4
协调	JC13-1 : 28	光电导体	JC4-1 : 33
有理数	JC1-1 : 11	光电管	JC8-1 : 7
有载调压变压器	JC11-1 : 54	光效	ZY10-1 : 15
有功功率	JC6-1 : 99	光度量的名称、符号、定义、单位	ZY10-3
有功电度表	JC7-1 : 32	光学基本定律和公式	JC2-16
有机物	JC3-1 : 16	光源	JC2-1 : 58
有机化学反应	JC3-8	光源的一般显色指数类别	ZY10-26
有或无继电器	JC11-1 : 88	光源的色表类别	ZY10-25
有人值班变电所	ZY5-1 : 11	光谱	ZY10-2 : 1
有色金属材料	JC5-3 : 2	光通量	JC2-1 : 59
有效值	JC6-1 : 23	光强, 发光强度	JC2-1 : 60
有效位数	JC7-4 : 1	光强分布曲线	ZY10-1 : 39
有源元件	JC8-1 : 3	光子	JC2-1 : 72

(续)

回路	JC6-1 : 82	会计	JC13-1 : 64
回路电流法	JC6-8 : 2	会计核算	JC13-1 : 61
回火	JC5-1 : 53	合理性	ZY1-1 : 7
同步电机	JC11-1 : 10	合格品率	JC13-4-33
同步电机的类型	JC11-8	合伙制企业	JC13-2 : 3
同步电机的结构原理	JC11-9	合金	JC5-1 : 57
同步补偿机, 同步调相机	JC11-1 : 26	合金工具钢	JC5-3 : 1.2.2
同时系数	ZY2-1 : 12	合金钢	JC5-3 : 12
同位素	JC3-1 : 10	合金铸铁	JC5-3 : 1.3.5
同位角	JC1-1 : 29	合金结构钢	JC5-3 : 1.2.1
同旁内角	JC1-1 : 32	全面质量管理	JC13-1 : 51
同旁外角	JC1-1 : 33	全电路欧姆定律	JC6-2 : 1
曲线积分	JC1-28	全电流定律	JC6-23 : 2
刚体	JC2-1 : 19	企业供电系统	ZY1-1 : 23
网络	JC6-1 : 79	企业工会	JC13-2 : 11
网络拓扑	JC9-1 : 92	企业成本费用	JC13-8 : 10
舌簧触点	ZY7-1 : 32	企业财产组织形式	JC13-2 : 3
年运行费	ZY6-1 : 7	企业党组织	JC13-2 : 12
年平均雷暴日数	ZY9-1 : 65	企业管理基础工作	JC13-1 : 3
年平均负荷	ZY2-1 : 6	企业法人制度	JC13-2 : 2
年最大负荷	ZY2-1 : 5	行列式	JC1-1 : 95
年最大负荷损耗时间, 年损耗时间	JC12-1 : 42	行政管理机构	JC13-1 : 34
年最大负荷利用小时	JC12-1 : 41	行矩阵	JC1-1 : 96
年预计雷击次数	ZY9-30 注	行向量	JC1-1 : 96
氛	JC3-5 : 28	行为科学	JC13-1 : 24
优质	ZY1-1 : 5	负载, 负荷	JC11-1 : 99
优质钢	JC5-3 : 1.1.2	负载损耗	JC11-13 : 6
伏特表	JC7-1 : 29	负荷开关	JC11-1 : 75
仰视图	JC4-1 : 15	负荷持续率	ZY2-1 : 14
后视图	JC4-1 : 15	负荷中心	ZY2-1 : 9
伪指令	JC9-1 : 67	负荷中心的确定	ZY5-9 : 2
自耦变压器	JC11-1 : 55	负荷曲线	JC12-1 : 40
自动化生产	JC13-4 : 7	负荷管理	JC12-1 : 39
自动重合闸装置	ZY8-1 : 15	负荷调整	ZY11-1 : 4
自感, 自感系数	JC6-1 : 40	负荷密度	ZY2-1 : 10
自保持继电器	ZY7-1 : 2	负荷系数, 负荷率	ZY2-1 : 13
自然功率因数	ZY11-1 : 7	多元合金	JC5-1 : 57
自然接地体	ZY9-1 : 31	多机床管理	JC13-7 : 18
自然照明	ZY10-1 : 2	多相电机	JC11-1 : 14
自然数列	JC1-1 : 2	多雷区	ZY9-1 : 67
自然对数	JC1-1 : 14	多油断路器	JC11-1 : 77
延时继电器	ZY7-1 : 17	多谐振荡器	JC8-32 : 1
价格	JC13-8 : 7	多边形	JC1-1 : 34
价值	JC13-1 : 14	多线表示法	JC4-1 : 45

(续)

多级放大电路	JC8-12	设备事故	JC13-5 : 27
色温, 色温度	ZY10-1 : 17	设备技术档案	JC13-5 : 8
杂质	JC8-1 : 18	设备利用率	JC13-5 : 16
杂质半导体	JC8-1 : 20	设备合理使用	JC13-5 : 9
齐次多项式	JC1-1 : 91	设备修理	JC13-5 : 21
齐次微分方程	JC1-1 : 93	设备分类和编号	JC13-5 : 7
齐次线性方程	JC1-1 : 92	设备磨损	JC13-5 : 17
齐次线性微分方程	JC1-1 : 94	设备磨损的补偿形式	JC13-5 : 18
齐纳击穿	JC8-1 : 25	设备完好率	JC13-5 : 15
交联聚合物	JC3-6 : 27	设备改造与更新	JC13-5 : 29
交越失真	JC8-1 : 66	设备维修与检查	JC13-5 : 20
交接试验	ZY13-1 : 9	设备综合管理	JC13-5 : 1
交流电机	JC11-1 : 9	设计规范	ZY12-1 : 10
交流电流	JC6-1 : 89	设计图纸	ZY12-1 : 4
交流负载线	JC8-1 : 69	设计说明书	ZY12-1 : 3
产品标准	JC13-1 : 32	寻址方式	JC9-1 : 19
产品质量	JC13-4 : 31	防静电接地	ZY9-11 : 4
闭区间	JC1-1 : 50	防雷接地	ZY9-11 : 3
并联	JC6-1 : 84	防雷措施	ZY9-27.31
并联电容器	JC11-1 : 64	防雷装置	ZY9-1 : 59
并联电容器组的结线和装设	ZY11-9	防腐电工产品使用环境条件	ZY4-22
并联电容器组的选择计算	ZY11-10	尖峰电流	ZY2-1 : 8
米 (m)	JC2-2 : 1	尖峰负荷	ZY2-1 : 7
冲量	JC2-1 : 40	异步电机	JC11-1 : 11
冲击接地电阻	ZY9-1 : 37	异步电动机类型	JC11-10
冲击短路电流	ZY3-1 : 5	异步电动机结构原理	JC11-11
安, 安培 (A)	JC2-2 : 4	导电材料	JC10-1 : 1
安培表	JC7-1 : 28	导电铜合金和铝合金	JC10-3
安装图	JC4-1 : 24	导电部分	ZY9-1 : 17
安装式仪表	JC7-1 : 42	导电纯金属	JC10-2
安全性	ZY1-1 : 3	导体	JC6-1 : 30
安全标志	ZY9-1 : 24	导体材料	JC10-1 : 2
安全电压	ZY9-3	导体最高允许温度	ZY4-10
安全电流	ZY9-1 : 9	导体短路热稳定系数值	ZY4-10
安全照明	ZY10-1 : 35	导数	JC1-1 : 83
安全距离	ZY9-1 : 23	导数公式和运算法则	JC1-21
安全特低电压, 安全超低电压	ZY9-1 : 10	导通	JC8-1 : 32
安全色	ZY9-1 : 25	导纳	JC6-1 : 53
字	JC9-1 : 41	导纳模	JC6-1 : 54
字长	JC9-1 : 42	红外线	JC2-1 : 63
字符	JC9-1 : 43	那勃勒算子	JC1-2 : 8.5
灯具效率	ZY10-1 : 23	级数	JC1-1 : 67
设备寿命	JC13-5 : 19	导线最小截面积	ZY6-27
设备寿命周期费用	JC13-5 : 2	导线和电缆截面积选择	ZY6-25

(续)

导线和电缆的经济电流密度	ZY6-28 : 1	技术设计	ZY12-1 : 8
七 画		技术诀窍	JC13-4 : 29
形变铝合金	JC5-3 : 2.2.2	技术经济论证	JC13-4 : 30
进相机	JC11-1 : 27	抗拉强度	JC10-1 : 24
远动, 远动装置	JC12-1 : 30	抗压强度	JC10-1 : 25
远后备保护	ZY7-1 : 35	抗弯强度	JC10-1 : 26
运动	JC2-1 : 4	抗冲击强度	JC10-1 : 27
运动副	JC5-1 : 9	折旧费	ZY6-1 : 6
运筹学	JC13-1 : 21	折射定律	JC2-16 : 3
运算曲线	ZY3-4 : 7	投影	JC4-1 : 3
运算器	JC9-1 : 8	抛物线	JC1-13 : 1
运算放大器	JC8-1 : 84	抛物线方程	JC1-13
运算法	JC1-32 : 1	还原	JC3-1 : 40
韧性	JC5-1 : 63	还原剂	JC3-1 : 42
坎德拉 (cd)	JC2-2 : 7	还原反应	JC3-8 : 5
坝后式水电站	JC12-2 : 3.1	连杆机构	JC5-1 : 10
坝内式水电站	JC12-2 : 3.2	卤钨灯	ZY10-5 : 1.2
劳动	JC13-1 : 9	卤钨循环	ZY10-5 : 1.2
劳动资料	JC13-1 : 7	快中子增殖型核电站	JC12-6 : 1.5
劳动手段	JC13-1 : 7	时域分析	JC6-17
劳动对象	JC13-1 : 8	时变电磁场	JC6-1 : 6
劳动生产率	JC13-7 : 11	时效	JC5-1 : 55
劳动人事管理	JC13-1 : 57	时效硬化	JC5-1 : 55
劳动合同	JC13-7 : 5	时间	JC2-1 : 6
劳动保险	JC13-7 : 29	时间继电器	ZY7-1 : 17
劳动保护	JC13-7 : 30	时序逻辑	JC8-1 : 76
劳动分工	JC13-7 : 24	串联	JC6-1 : 83
劳动制度	JC13-7 : 4	串联电容器	JC11-1 : 65
劳动定额	JC13-7 : 7	串联谐振	JC6-11 : 2
劳动计划	JC13-7 : 10	串励绕组	JC11-1 : 39
劳动组织	JC13-7 : 12	财务报告	JC13-8 : 19
克莱姆法则	JC1-4 : 15	财务管理	JC13-1 : 59
克希荷夫定律	JC6-2 : 2	状态	JC2-1 : 9
杆上变电所 (台)	ZY5-1 : 9	氩	JC3-5 : 31
极性分子	JC3-1 : 19	氩灯	ZY10-5 : 2.5
极化继电器	ZY7-1 : 21	利用系数 (负荷)	ZY2-1 : 16
两相短路计算	ZY3-8	利用系数 (照度)	ZY10-1 : 38
两平行载流导体的相互作用力	JC6-23 : 4	利用系数法 (负荷计算)	ZY2-6 : 3
励磁机	JC11-1 : 19	利用系数法 (照度计算)	ZY10-34
励磁绕组	JC11-1 : 37	利润	JC13-8 : 13
技术革新	JC13-4 : 27	利润率	JC13-8 : 24
技术标准	JC13-1 : 31	私营企业	JC13-2 : 3
技术基础	JC13-1 : 4	体积电阻率	JC10-1 : 22
		低压	JC1-1 : 114

(续)

低压配电线路结线方式	ZY5-7	间接接触防护	ZY9-1 : 16
低压配电线路结构与敷设	ZY5-34	间接测量	JC7-1 : 3
低压配电室通道最小宽度	ZY5-16	间隔	JC4-1 : 59
低压配电系统的接地型式	JC12-11	间隙	JC4-1 : 60
低压电器的类型、结构特点及应用范围	ZY4-17	冷加工	JC5-1 : 67
低压电器的选择校验项目	ZY4-18	冷轧硅钢片牌号、性能及应用范围	JC10-8
低压电器的选择校验条件	ZY4-19	冷轧硅钢片的变压器	JC11-12 : 9.2
低压电器的型号编制	JC11-22	汽轮发电机	JC11-1 : 18
低压断路器 (自动开关、空气开关)	JC11-1 : 81	宏功能	JC9-1 : 65
低压火电厂	JC12-4 : 4.1	宏汇编程序	JC9-1 : 66
低值易耗品	JC13-6 : 7	宏观	JC2-1.7
位置图	JC4-1 : 39	补角	JC1-1 : 28
位移	JC2-1 : 20	初步设计	ZY12-1 : 7
位能	JC2-1 : 35	识别对象	ZY10-1 : 21
作业组	JC13-7 : 15	诊断	JC9-1 : 83
余切	JC1-10 : 1	诊断程序	JC9-1 : 48
余切定理	JC1-10 : 4	译码器	JC8-1 : 81
余割	JC1-10 : 1	灵敏系数、灵敏度	ZY7-1 : 42
余弦	JC1-10 : 1	灵活	ZY5-2 : 3
余弦定理	JC1-10 : 4	层压板	JC10-21
余角	JC1-1 : 27	层压管	JC10-22
余热发电	JC12-1 : 13	局域网	JC9-1 : 96
角速度	JC2-1 : 26	局部照明	ZY10-1 : 30
角频率	JC6-1.19	局部等电位联结	ZY9-1 : 47
角加速度	JC2-1 : 27	阿佛加德罗定律	JC3-4 : 4
刨床	JC5-6 : 3	阻抗模	JC6-1 : 51
返回	ZY7-1 : 24	阻抗电压	JC11-13 : 6
返回电流	ZY7-1 : 39	阻抗计算	JC6-6
返回系数	ZY7-1 : 40	阻容元件型号规格标准	JC8-3
近后备保护	ZY7-1 : 36	阻尼	JC7-1 : 47
系数矩阵	JC1-5 : 7	纵联差动保护	ZY7-14
系统	JC6-1 : 78	附设变电所	ZY5-8 : 3
系统工程	JC13-1 : 23	八 画	
系统软件	JC9-1 : 46	表面光洁度	JC5-1 : 72
系统最高电压	JC11-1 : 111	表面粗糙度	JC5-1 : 72
系统图	JC4-1 : 32	表面电阻率	JC10-1 : 23
系统误差	JC7-1 : 9	表图	JC4-1 : 40
应急照明	ZY10-1 : 33	表达式	JC9-1 : 72
库存量控制	JC13-6 : 14	青铜	JC5-3 : 2.1.3
库仑定律	JC2-15 : 2	环形网络	JC9-1 : 95
库仑力	JC6-1 : 65	环形结线	ZY5-1 : 17
间接接触	ZY9-1 : 15	环境条件	JC11-1 : 104
		环境温度	ZY4-27

(续)

环氧树脂	JC3-6 : 28	事故照明	ZY10-1 : 33
现代企业	JC13-1 : 1	板式仪表	JC7-1 : 42
现代企业管理	JC13-1 : 2	构件	JC5-1 : 8
现代企业制度	JC13-2 : 1	奇数	JC1-1 : 6
现代企业组织制度	JC13-2 : 6	奇函数	JC1-1 : 55
现代企业用工制度	JC13-2 : 13	奇偶校验	JC9-1 : 99
现代企业工资制度	JC13-2 : 14	拓扑结构	ZY8-1 : 20
现代企业财务制度	JC13-2 : 15	拉普拉斯变换	JC1-32
现代企业营销管理	JC13-3	拉普拉斯逆变换	JC1-32
现代企业生产技术和质量管理	JC13-4	拉线	ZY5-1 : 28
现代企业设备管理	JC13-5	转换触点	ZY7-1 : 30
现代企业物资管理	JC13-6	转置矩阵	JC1-5 : 2
现代企业劳动人事管理	JC13-7	转置行列式	JC1-4 : 1
现代企业财务管理	JC13-8	转差率	JC11-1 : 47
现金流量	JC13-8 : 22	转子绕组	JC11-1 : 35
垃圾发电	JC12-1 : 14	软磁材料	JC10-1 : 7
苛性钾	JC3-6 : 10	软件	JC9-1 : 38
苛性钠	JC3-6 : 11	软件包	JC9-1 : 49
取代反应	JC3-8 : 1	软件可靠性	JC9-1 : 70
直击雷	ZY9-1 : 54	势能	JC2-1 : 35
直接接触	ZY9-1 : 13	非正弦电流	JC6-1 : 91
直接接触防护	ZY9-1 : 14	非正弦交流电路	JC6-12~15
直接测量	JC7-1 : 2	非极性分子	JC3-1 : 20
直径	JC1-1 : 37	非极化继电器	ZY7-1 : 22
直角	JC1-1 : 23	非门	JC8-28
直角三角形	JC1-1 : 35	非金属	JC3-1 : 14
直流操作电源	ZY8-3	非金属材料	JC5-4
直流电路分析计算	JC6-7、8	非线性元件	JC6-1 : 69
直流电流	JC6-1 : 88	非线性电路	JC6-1 : 69
直流电机	JC11-1 : 8	齿轮传动	JC11-1 : 19
直流电机类型、特点及应用范围	JC11-5	国际单位制 (SI 制)	JC2-1 : 11
直流电机结构原理	JC11-7	国际单位制 (SI) 单位	JC2-2~10
直流负载线	JC8-1 : 68	固体电介质类型	JC10-14
直流发电机-电动机组	JC11-1 : 31	固溶体	JC5-1 : 58
直线	JC1-12 : 1	固定式仪表	JC7-1 : 42
直线方程	JC1-12	固定式设备	ZY9-1 : 40
直线职能制	JC13-1 : 46	固定资产折旧法	JC13-5 : 26
直读法	JC7-2 : 2.1	图	JC4-1 : 1
欧拉公式	JC1-10 : 12	图形符号	JC4-1 : 50
欧拉定理	JC1-7 : 3	图样	JC4-1 : 2
欧姆定律	JC6-2 : 1	图样幅面	JC4-3
欧姆法 (短路计算)	ZY3-6	图样标题栏	JC4-4
事业部制	JC13-1 : 47	图样明细栏	JC4-5
事故信号	ZY8-1 : 8	图样字体	JC4-6

(续)

图线型式	JC4-7	修理周期定额	JC13-5 : 24
图样比例	JC4-8	质点	JC2-1 : 18
周期	JC6-1 : 14	质量	JC2-1 : 12
周期函数	JC1-1 : 66	质量守恒定律	JC3-4 : 1
制动	JC7-1 : 46	质量成本	JC13-4 : 36
制动器	JC5-1 : 33	质量热容	JC2-1 : 53
制图标准	JC4-2	质量“三包”	JC13-4 : 40
物理量	JC2-1 : 10	质量检验	JC13-4 : 38
物理常数	JC2-17	质量控制	JC13-4 : 39
物理变化	JC3-1 : 56	质量分数	JC3-1 : 25
物态	JC2-1 : 44	质量保证体系	JC13-4 : 37
物质	JC2-1 : 1	质量浓度	JC3-1 : 25
物质不灭定律	JC3-4 : 1	质量守恒定律	JC3-4 : 1
物质的量	JC2-2 : 6	质子	JC2-1 : 69
物化劳动	JC13-1 : 11	金属	JC3-1 : 13
物资	JC13-6 : 1	金属材料	JC5-3
物资消耗	JC13-6 : 1	金属化合物	JC5-1 : 59
物资消耗定额	JC13-6 : 11	金属切削机床	JC5-5~6
物资储备定额	JC13-6 : 13	金属卤化物灯	ZY10-5 : 2.4
物资供应计划	JC13-6 : 15	金属氧化物避雷器	ZY9-1 : 64
物资供应方式	JC13-6 : 16	备件	JC13-5 : 30
物资 ABC 分析法	JC13-6 : 18	备件管理	JC13-5 : 30
物资合理利用	JC13-6 : 20	备用电源自动投入装置	ZY8-1 : 16
供电	ZY1-1 : 1	所得税	JC13-8 : 17
供电工程设计	ZY12-1 : 2	所有者权益	JC13-8 : 23
供电连续性	ZY1-1 : 2	股金制度	JC13-7 : 27
供电制图比例	JC4-9	径流式水电站	JC12-2 : 2.1
供电贴费	ZY12-1 : 12	变配电所布置方案示例	ZY5-19
供电设计范围	ZY12-2 : 1	变配电所值班制度	ZY13-2
供电设计内容	ZY12-2 : 2	变配电所值班员职责	ZY13-3 : 1
供电设计阶段	ZY12-3	变配电所所址选所	ZY5-9 : 1
供电初步设计	ZY12-4 : 1	变配电所总体布置要求	ZY5-10
供电施工(图)设计	ZY12-4 : 2	变配电所建筑结构要求	ZY5-11
供电设计基础资料	ZY12-5	变配电装置标准安装图 图	ZY5-3~32
供电设计与其它设计的配合	ZY12-6	变压器	JC11-1 : 48
供电初步设计文件的编制	ZY12-7	变压器运行维护	ZY13-6
供电施工(图)设计文件的编制	ZY12-8	变压器检修	ZY13-7
供电设计原则	ZY12-9	变压器正常过负荷	ZY4-1 : 3
供电设计规范与标准	ZY12-10	变压器正常过负荷能力计算	ZY4-2 : 2
使用条件	JC11-1 : 105	变压器事故过负荷	ZY4-1 : 4
使用寿命	JC11-1 : 108	变压器事故过负荷能力	ZY4-2 : 3
使用价值	JC13-1 : 15	变压器功率损耗计算	ZY2-18 : 2
货币时间价值	JC13-8 : 21	变压器并列运行条件	ZY13-5
修理工作定额	JC13-5 : 25	变压器出力	ZY4-1 : 2

(续)

变压器出力计算	ZY4-2:1	单相正弦交流电路	JC6-9
变压器室最小净距	ZY5-13	单相接地保护	ZY7-17
变压器室通风窗面积	ZY5-17	单相接地短路保护	ZY7-19
变压器节电	ZY11-3	单相电机	JC11-1:13
变压器试验	ZY13-8	单相电路	JC6-1:70
变电所, 变电站	JC12-1:23	单相短路计算	ZY3-9
变电所构架	ZY5-1:35	单相负荷计算	ZY2-17
变电所主变压器联结组选择	ZY4-3:3	单位相量算子	JC6-10:1
变电所主变压器台数选择	ZY4-3:1	单位面积耗电量法	ZY2-6:6
变电所主变压器容量选择	ZY4-3:2	单位指标法	ZY2-6:7
变电所主结线方案 (35kV)	ZY5-3	单位产品耗电量法	ZY2-6:5
变电所主结线方案 (6~10kV)	ZY5-4	单位容量法	ZY10-37
变频器, 变频器	JC11-1:29	单位矩阵	JC1-5:4
变流机, 变流器	JC11-1:28	单稳态触发器	JC8-32:2
变速机构	JC5-1:14	单稳态继电器	ZY7-1:15
变向机构	JC5-1:15	单板机	JC9-1:4
底图	JC4-1:43	单片机	JC9-1:4
废热式火电厂	JC12-4:1.4	单质	JC3-1:8
放大电路	JC8-1:37	单回路	ZY5-1:18
放射式结线	ZY5-1:14	单母线结线	ZY5-1:4
放射性元素	JC3-1.12	单线表示法	JC4-1:46
放射性同位素	JC3-1.11	闸流管	JC8-1:5
刻度	JC7-1:17	闸流晶体管 (晶闸管, 可控硅)	JC8-1:28
定比定律	JC3-4:6	法拉第电磁感应定律	JC2-15:5
定时限特性	ZY7-1:45	法线	JC1-1:46
定时限过电流保护	ZY7-10:2	法人	JC13-1:20
定员	JC13-7:6	油开关, 油断路器	JC11-1:77
定积分	JC1-1	油浸式变压器	JC11-1:51
定积分公式和运算法则	JC1-26	沸点	JC2-1:49
定额	JC13-1:35	沸水堆核电路	JC12-6:2.1
定子绕组	JC11-1:34	沼气电站	JC12-1:10
定组成定律	JC3-4:6	波义耳-马略特定律	JC2-13:1
空间	JC2-1:6	波长	JC2-1:56
空间等照度曲线	ZY10-1:40	波绕组	JC11-1:44
空穴	JC8-1:15	净产值	JC13-1:67
空穴导电	JC8-1:16	试纸	JC3-1:78
空载, 空负荷	JC11-1:101	试验	ZY13-1:7
空载损耗	JC11-13:5	详图	JC4-1:21
空载电流	JC11-13:6	视图	JC4-1:12
空气断路器	JC11-1:79	视在功率, 表观功率	JC6-1:101
官能团	JC3-1:6	视觉作业	ZY10-1:20
实物	JC2-1:2	建筑材料图例	JC4-16
实数	JC1-1:15	建筑制图常用符号	JC4-17
审计	JC13-1:65	建筑制图图样画法	JC4-18

(续)

建筑制图尺寸标注	JC4-19	玻尔理论	JC2-17 : 2
建筑物易受雷击部位	ZY9-32	项目	JC4-1 : 55
建筑物防雷分类	ZY9-30	项目代号	JC4-1 : 56
建筑自动化系统 (BAS)	ZY8-1 : 17	故障	ZY1-1 : 8
弧度 (rad)	JC2-3 : 1	故障电流	ZY9-1 : 7
弧光放电	JC8-1 : 31	故障接地	ZY9-1 : 28
弧光接地过电压	ZY9-23 : 1.2	胡克定律	JC2-12 : 1
限定符号	JC4-1 : 53	标量	JC1-1 : 97
限流熔断器	ZY4-1 : 5	标量积	JC1-1 : 99
线速度	JC2-1 : 25	标度	JC7-1 : 17
线电压	JC6-1 : 95	标准	JC13-1 : 30
线电流	JC6-1 : 96	标称值	JC11-1 : 96
线性元件	JC6-1 : 68	标么值	ZY3-1 : 14
线性电路	JC6-1 : 68	标么值法	ZY3-5
线性方程	JC1-1 : 77	标号	JC9-1 : 73
线性微分方程	JC1-1 : 94	标示牌式样	ZY9-8
线性函数	JC1-1 : 65	相量	JC6-1 : 16
线路	JC12-1 : 18	相量图	JC6-9 : 2
线路量具	ZY5-1 : 26	相电压	JC6-1 : 93
线路功率损耗计算	ZY2-18 : 1	电电流	JC6-1 : 94
线路电压损耗计算	ZY6-29	相位	JC6-1 : 17
线路运行维护	ZY13-11	相位表	JC7-1 : 36
线路检修	ZY13-12 : 1	相位移	JC6-1 : 25
线路试验	ZY13-12 : 2	相位差	JC6-1 : 25
线圈	JC11-1 : 33	相序	JC6-1 : 72
线膨胀	JC2-14 : 5	相序表, 相序指示器	ZY13-1 : 12
线间几何均距	ZY6-1 : 9	相对磁导率	JC6-1 : 64
组合逻辑	JC8-1 : 75	相对原子质量	JC3-1 : 64
组织	JC13-1 : 26	相对接用时间	ZY2-1 : 14
经营管理	JC13-1 : 49	相对照度系数值	ZY10-27
经济性	ZY1-1 : 6	相对分子质量	JC3-1 : 65
经济责任制	JC13-1 : 37	相对误差	JC7-1 : 13
经济运行	JC12-1 : 37	查理定律	JC2-13 : 3
经济核算	JC13-1 : 60	树干式结线	ZY5-1 : 15
经济截面	ZY6-1 : 4	草图	JC4-1 : 41
经济电流密度	ZY6-1 : 5	荧光灯	ZY10-5 : 2.1
经济负荷	ZY11-1 : 6	荧光高压汞灯	ZY10-5 : 2.2
经济订购批量	JC13-6 : 17	耐压试验	ZY13-1 : 11
终端	JC9-1 : 34	耐热等级	JC10-11
函数, 函数的定义域, 值域	JC1-1 : 52	指示仪表	JC7-1 : 19
		指示继电器	ZY7-1 : 19
		指令	JC9-1 : 14
		指令系统	JC9-1 : 15
		指令周期	JC9-1 : 17
九 画			
玻璃	JC3-6 : 21		
玻璃钢	JC3-6 : 30		

(续)

指令寻址方式	JC9-14	重力	JC2-1 : 14
指挥	JC13-1 : 27	重力加速度	JC2-1 : 24
指针式仪表	JC7-1 : 20	重水	JC3-6 : 2
指数	JC1-1 : 14	重水堆型核电站	JC12-6 : 1.4
指数方程	JC1-1 : 79	复功率	JC6-1 : 98
指数函数	JC1-1 : 61	复平面	JC1-1 : 19
轴	JC5-1 : 29	复用表	JC7-1 : 30
轴测投影	JC4-1 : 7	复制图	JC4-1 : 44
轴测图	JC4-1 : 7	复合材料	JC5-4 : 4
轴承	JC5-1 : 30	复合导体	JC10-1 : 11
轴承合金	JC5-3 : 2.3	复分解反应	JC3-1 : 72
轻水堆型核电站	JC12-6 : 1.3	复数	JC1-1 : 17
带传动	JC5-1 : 17	复数运算	JC1-18
带时限的过电流保护	ZY7-10	复数阻抗	JC6-1 : 52
带电部分	ZY9-1 : 18	复数导纳	JC6-1 : 55
点积, 点乘	JC1-1 : 99	矩形	JC1-1 : 36
点光源	ZY10-1 : 12	矩阵	JC1-1 : 96
显色指数	ZY10-1 : 16	矩阵的秩	JC1-4 : 2
显色反应	JC3-8 : 12	选测系统	ZY8-1 : 13
星形联结	JC6-1 : 85	科技管理	JC13-1 : 53
品级率	JC13-4 : 32	便携式仪表	JC7-1 : 41
哈密尔顿算子	JC1-2 : 8.5	保护接地	ZY9-1 : 27
响应	JC6-1 : 75	保护接零	ZY9-11 : 6
氢	JC3-5 : 24	保护装置操作电源的一般要求	ZY7-8
氢氧化钾	JC3-6 : 10	保护装置常用操作电源	ZY7-9
氢氧化钠	JC3-6 : 11	保护装置装设要求	ZY7-21~24
氢氧化钙	JC3-6 : 12	保护角(灯具的)	ZY10-1 : 24
氟	JC3-5 : 20	保护间隙	ZY9-11 : 6
钙	JC3-5 : 14	保护导体(PE导体)	JC12-1 : 47
钠	JC3-5 : 13	保护中性导体(PEN导体)	JC12-1 : 48
钢	JC3-5 : 3	保护继电器	JC11-1 : 89
钢化	JC5-1 : 52	信号	JC8-1 : 50
钢精	JC3-5 : 2	信号回路	ZY8-1 : 5
钝化	JC3-1 : 50	信号继电器	ZY7-1 : 19
钝角	JC1-1 : 26	信噪比	JC8-1 : 57
钝角三角形	JC1-1 : 35	信息	JC8-1 : 49
铊	JC3-5.7	秒(s)	JC2-2 : 3
铀	JC3-5.15	衍生物	JC3-1 : 18
垂直线, 垂线	JC1-1 : 41	脉动电流	JC6-1 : 92
重要负荷	ZY2-1 : 2	独立变(配)电所	ZY5-8 : 1
重量	JC2-1 : 15	亮度	JC2-1 : 62
重积分	JC1-1 : 89	施工图	JC4-1 : 28
重复接地	ZY9-1 : 29	施工(图)设计	ZY12-1 : 9
重心	JC1-1 : 43	施密特触发器	JC8-32 : 3

(续)

逆矩阵	JC1-5 : 6	绝缘胶	JC10-20
逆变电路	JC8-1 : 41	绝缘漆	JC10-19
逆调压方式	ZY1-6 : 25	绝缘纸	JC10-18
差动放大电路	JC8-13	绝缘子	JC11-1 : 32
差动放大器	JC8-1 : 60	绝缘电阻试验	ZY13-1 : 10
总布置图	JC4-1 : 29	绝缘强度	JC10-1 : 21
总等电位联结	ZY9-1 : 46	绝缘导线	ZY5-1 : 23
总线	JC9-1 : 13	十 画	
总线接口标准	JC9-17	耗能元件	JC6-1 : 40
总降压变电所(站)	ZY1-1 : 24	载流子	JC8-1 : 12
总经理	JC13-2 : 9	载流量	ZY6-1 : 1
阀式避雷器	ZY9-1 : 61	载流量校正系数	ZY6-21、24
活劳动	JC13-1 : 10	起动	ZY7-1 : 23
测量	JC7-1 : 1	起动器	JC11-1 : 85
测量基准	JC7-1 : 4	起动继电器	ZY7-1 : 20
测量机构	JC7-1 : 6	起始磁化曲线	JC6-1 : 110
测量仪表	JC7-1 : 5	配电	JC12-1 : 19
测量仪表常数	JC7-1 : 16	配电电器	JC11-1 : 67
测量设备	JC7-1 : 7	配电所(站)	JC12-1 : 24
测量误差	JC7-1 : 8	配电所主结线方案	ZY5-5
测量继电器	JC11-1 : 87	配电装置	JC11-1 : 72
洛伦兹力	JC6-1 : 66	配电装置运行维护	ZY13-9
洛氏硬度	JC5-1 : 62	配电装置检修	ZY13-10 : 1
B的浓度	JC3-1 : 25	配电装置试验	ZY13-10 : 2
语句	JC9-1 : 71	配电装置最小电气安全净距	ZY5-12
退火	JC5-1 : 50	配电变压器	JC11-1 : 50
架空地线, 避雷线	ZY5-1 : 24	配电线路	JC12-1 : 20
架空线路	ZY5-1 : 20	配光曲线	ZY10-1 : 39
盈余公积金	JC13-8 : 15	配件	JC13-5 : 30
结构式	JC3-1 : 60	配合	JC5-1 : 71
结构化程序设计	JC9-1 : 59	真空断路器	JC11-1 : 80
结晶	JC3-1 : 34	速度	JC2-1 : 21
结线	ZY5-1 : 1	速率	JC2-1 : 22
结线系数	ZY7-1 : 41	晋升	JC13-7 : 22
绕组	JC11-1 : 32	格林公式	JC1-28 : 5
绕线型电动机, 绕线转子感应电动机	JC11-1 : 21	核素	JC3-1 : 66
绝对电磁系单位制	JC6-1 注	核能	JC2-1 : 78
绝对温度	JC2-2 : 5	核能发电站, 核电站	JC12-1 : 5
绝对误差	JC7-3 : 2.1	桥式触点	ZY7-1 : 31
绝缘材料	JC10-1 : 5	桥形结线	ZY5-1 : 6
绝缘材料型号编制	JC10-10	框图	JC4-1 : 31
绝缘材料耐热等级	JC10-11	原理图	JC4-1 : 30
绝缘性能	JC6-1 : 39	原图	JC4-1 : 42
绝缘体	JC6-1 : 38		

(续)

原材料	JC13-6 : 4	热力学温度	JC2-2 : 5
原电池	JC3-1 : 52	热加工	JC5-1 : 66
原电池化学反应	JC3-9 : 1.2	致颤电流	ZY9-1 : 39
原子	JC2-1 : 66	监事会	JC13-2 : 10
原子核	JC2-1 : 67	紧定螺钉联接	JC5-1 : 26
原子核能, 原子能	JC2-1 : 78	柴油发电机组	JC12-1 : 12
原子量	JC3-1 : 64	峰值	JC6-1 : 24
原子团	JC3-1 : 5	圆柱	JC1-1 : 38
原子行星模型	JC2-17 : 1	圆周	JC1-1 : 37
原子价	JC3-1 : 61	圆周率	JC1-1 : 47
原子能	JC2-1 : 78	圆周角	JC1-6 : 5
原子物理基本理论和方法	JC2-17	圆的直径	JC1-1 : 37
原函数	JC1-1 : 53	圆的半径	JC1-1 : 37
盐	JC3-1 : 32	圆锥	JC1-1 : 39
盐酸	JC3-6 : 8	圆弧	JC1-1 : 37
逐点计算法	ZY10-38	眩光	ZY10-1 : 18
振荡	JC6-1 : 105	眩光限制	ZY10-22~24
振荡电路	JC8-1 : 38	氩	JC3-5 : 29
振幅值	JC6-1 : 24	氮	JC3-5 : 27
振荡式仪表	JC7-1 : 21	氧	JC3-5 : 25
换路定律	JC6-16 : 2	氧化	JC3-1 : 40
热功当量	JC2-1 : 55	氧化还原反应	JC3-7 : 5
热平衡	JC2-1 : 52	氧化反应	JC3-8 : 3
热带型电工产品使用环境条件	ZY4-23	氧化汞	JC3-6 : 2
热轧硅钢片的变压器	JC11-12 : 9, 1	氧化铜	JC3-6 : 14
热辐射光源	ZY10-1 : 13	氧化铝	JC3-6 : 17
热量	JC2-1 : 50	氧化铅	JC3-6 : 15
热电厂, 热力发电厂	JC12-1 : 3	氧化锌	JC3-6 : 14
热电偶	JC10-1 : 19	氧化银	JC3-6 : 16
热电偶材料	JC10-1 : 19	氧化剂	JC3-1 : 41
热固性塑料	JC5-4 : 1.3	铟	JC3-5 : 12
热传递	JC2-1 : 51	铁	JC3-5 : 3
热稳定	ZY3-1 : 21	铁心损耗, 铁损	JC6-1 : 111
热稳定电流	ZY4-1 : 17	铁心损耗计算	JC6-21 : 3
热稳定倍数	ZY4-1 : 18	铁磁电动系功率表	JC7-8 : 8
热处理	JC5-1 : 49	铁磁电动系测量机构	JC7-7 : 4
热效率	JC2-14 : 6	铁磁谐振过电压	ZY9-23 : 1.3
热效应	ZY3-1 : 19	铁锈	JC3-6 : 19
热效时间	ZY3-1 : 21	铅	JC3-5 : 4
热容	JC2-1 : 54	铅酸蓄电池	JC3-9 : 3
热导率	JC10-1 : 28	钻床	JC5-6 : 5
热力学第一定律	JC2-14 : 1	特殊性能钢	JC5-3 : 1.2.3
热力学第二定律	JC2-14 : 2	特高压	JC12-1 : 22
热力学第三定律	JC2-14 : 3	透射比, 透射率	ZY10-4 : 2

(续)

基本保护	ZY7-1 : 33	接地体冲击接地电阻的近似计算	ZY9-19
基本继电器	JC11-1 : 87	接地装置的选择	ZY9-13
基态	JC2-1 : 74	接地装置的敷设	ZY9-14
基础教育	JC13-1 : 40	接地装置的接地电阻要求	ZY9-17
基尔霍夫第一定律	JC6-2 : 2	接地装置的设计计算	ZY9-21
基尔霍夫第二定律	JC6-2 : 3	接地故障保护的要求	ZY9-22
基准值	ZY3-1 : 15	接零	ZY9-1 : 39
基准电压	ZY3-5 : 1.2	接口	JC9-1 : 35
基准电流	ZY3-5 : 1.3	接户线	ZY5-1 : 29
基准电抗	ZY3-5 : 1.4	接闪器	ZY9-1 : 57
基准容量	ZY3-5 : 1.1	接触电压	ZY9-1 : 21
基准阻抗	ZY3-5 : 1.4	接触器	JC11-1 : 84
基波	JC6-1 : 103	接线图	JC4-1 : 37
职位分类	JC13-7 : 20	控制	JC13-1 : 29
职务分析	JC13-7 : 19	控制开关	ZY8-1 : 3
职能科室	JC13-1 : 48	控制电器	JC11-1 : 68
菱形	JC1-1 : 36	控制电路, 控制回路	ZY8-1 : 4
黄铜	JC5-3 : 2.1.2	控制器	JC9-1 : 9
营销管理	JC13-6 : 5	控制设备	JC11-1 : 69
营业收入	JC13-8 : 12	控制台	ZY5-1 : 39
检索	JC9-1 : 79	控制室	ZY5-1 : 42
检修	ZY13-1 : 6	控制继电器	JC11-1 : 90
检测仪表	JC7-1 : 25	常开触点	ZY7-1 : 28
检流计	JC7-1 : 26	常闭触点	ZY7-1 : 29
检波电路	JC8-1 : 40	常用对数	JC1-1 : 14
梯形	JC1-1 : 36	常用测量仪表	ZY8-1 : 11
梯度	JC1-35 : 2	常用电光源	ZY10-5
酚醛树脂	JC3-6 : 29	常用电光源的性能	ZY10-6
硅	JC3-5 : 18	常用灯具的型号	ZY10-7
硒	JC3-5 : 19	常用灯具的分类	ZY10-8、9
辅助材料	JC13-6 : 5	逻辑代数	JC8-30
辅助存储器	JC9-1 : 23	逻辑运算继电器	JC11-1 : 88
辅助保护	ZY7-1 : 37	跃迁	JC2-1 : 77
辅助继电器	ZY7-1 : 11	距离保护	ZY3-16
堆栈	JC9-1 : 97	累加器	JC9-1 : 1
雪崩击穿	JC8-1 : 26	悬浮液	JC3-1 : 26
排气式避雷器	ZY9-1 : 62	虚数	JC1-1 : 16
排序	JC9-1 : 78	铜	JC3-5 : 1
接地体, 接地极	ZY9-1 : 30	铜绿	JC3-6 : 18
接地线	ZY9-1 : 33	铝	JC3-5 : 2
接地装置	ZY9-1 : 34	镉	JC3-5 : 10
接地电阻	ZY9-1 : 35	银	JC3-5 : 8
接地电阻表, 接地摇表	JC7-1 : 38	铣床	JC5-6 : 2
接地体工频接地电阻的近似计算	ZY9-18	铭牌容量	ZY2-1 : 15

(续)

椭圆方程	JC1-16	铸造	JC5-1 : 45
堤坝式水电站	JC12-2 : 12	铸造性	JC5-2 : 2.1
董事会	JC13-2 : 8	铸造铝合金	JC5-3 : 2.2.5
硝酸	JC3-6 : 9	链表	JC9-1 : 77
硫酸	JC3-6 : 7	链式结线	ZY5-1 : 16
棘轮机构	JC5-1 : 13	链传动	JC5-1 : 18
插床	JC5-6 : 4	销联接	JC5-1 : 28
紫铜	JC5-3 : 2.1.1	锌	JC3-5 : 6
紫外线	JC2-1 : 64	锐角	JC1-1 : 25
量本利分析	JC13-8 : 25	锐角三角形	JC1-1 : 35
量具	JC5-1 : 43	氮	JC3-5 : 26
量程, 量限	JC7-1 : 18	氯	JC3-5 : 21
量度继电器	ZY7-1 : 7	剩磁	JC10-1 : 10
量子	JC2-1 : 71	程序	JC9-1 : 50
最大需量	ZY1-1 : 22	程序设计	JC9-1 : 55
最大需量电度表	JC6-1 : 39	程序设计语言	JC9-1 : 56
最大负荷利用小时	JC12-1 : 41	稀释	JC3-1 : 37
最高持续(允许)工作温度	ZY6-1 : 3	稀释定律	JC3-4 : 5
最大运行方式	ZY11-1 : 44	税金	JC13-8 : 14
最小运行方式	ZY11-1 : 42	傅里叶级数	JC1-1 : 71
最佳负荷率	ZY11-1 : 10	傅里叶级数展开式	JC1-31
幅值	JC6-1 : 24	傅科电流	JC6-1 : 113
晶格	JC3-1 : 35	集, 集合	JC1-1 : 3
晶体	JC3-1 : 33	集权制	JC13-1 : 44
晶体三极管参数	JC8-4	集成电路	JC8-1 : 44
晶体管	JC8-1 : 9	集成运算放大器(信成运放)性能	JC8-17
晶体管基本工作状态	JC8-6	集成运放在信号处理方面的应用	JC8-20
晶体管放大电路的耦合方式	JC8-11	集成运放在波形产生方面的应用	JC8-21
晶体管放大电路的偏置方式	JC8-7	集中表示法	JC4-1 : 47
晶体管放大电路的分析方法	JC8-10	集中式网络	JC9-1 : 93
晶体管放大电路的计算公式	JC8-8	集中绕组	JC11-1 : 41
晶体管简易测试	JC8-5	集肤效应	JC6-1 : 37
晶体闸流管, 晶闸管	JC8-1 : 28	焦耳-楞次定律	JC2-15 : 3
晶体管继电保护的特点与组成	ZY7-25	储能元件	JC6-1 : 46
晶体管定时限过电流保护电路	ZY7-26	短路	JC11-1 : 102
晶体管反时限过电流保护电路	ZY7-27	短路损耗, 负载损耗	JC11-13 : 6
晶体管电流速断保护电路	ZY7-28	短路电压, 阻抗电压	JC11-13 : 6
晶体管低电压保护电路	ZY7-29	短路电流	ZY3-1 : 1
晶体管单相接地保护电路	ZY7-30	短路电流周期分量	ZY3-1 : 2
跌开式熔断器	ZY4-1 : 6	短路电流非周期分量	ZY3-1 : 3
辉光放电	JC8-1 : 30	短路全电流	ZY3-1 : 4
黑色金属	JC5-3 : 1	短路全电流最大有效值	ZY3-1 : 6
铸钢	JC5-3 : 1.1.5	短路冲击电流	ZY3-1 : 5
铸铁	JC3-5 : 3	短路冲击电流有效值	ZY3-1 : 6

(续)

短路稳态电流	ZY3-1:7	感应式电流继电器	ZY7-5:5
短路次暂态电流	ZY3-1:8	感应式继电器	ZY7-1:6
短路计算电压	ZY3-1:9	感应过电压	ZY9-23:2.2
短路回路, 短路电路	ZY3-1:10	感应电机	JC11-1:12
短路容量, 短路功率	ZY3-1:16	感应系电度表	JC7-8:12
短路电流电动效应	ZY3-10	感应系测量机构	JC7-7:5
短路电流热效应	ZY3-11	碘	JC3-5:23
智能型建筑	ZY8-18:1	碘钨循环	ZY10-5:1.2
智能控制	JC9-1:86	雷电过电压	ZY9-1:51
智能仪器	JC9-1:87	雷电感应	ZY9-1:45
等电位联结	ZY9-1:45	雷电波侵入	ZY9-1:56
等照度曲线	ZY10-1:40	雷暴日	ZY9-1:65
等腰三角形	JC1-1:35	零点漂移	JC8-1:65
等边三角形	JC1-1:35	零件	JC5-1:6
等效电路, 等值电路	JC6-1:73	零件图	JC4-1:22
等效电路图	JC4-1:36	零矩阵	JC1-5:5
淬火(淬火)	JC5-1:52	零序	JC8-1:72
滚球法	ZY9-1:68	零序电抗	ZY3-7:1
滚球半径	ZY9-33	零线	ZY9-1:38
滞后	JC6-1:27	输电	JC12-1:21
游离	JC3-1:47	输电线路	JC12-1:22
游离基	JC3-1:7	输入设备	JC9-1:29
装配图	JC4-1:23	输出设备	JC9-1:30
装配图中零部件序号	JC4-13	输入/输出缓冲器	JC9-1:31
装机容量	JC12-1:43	频域分析	JC6-13
装置式自动开关	JC11-1:83	频率	JC6-1:18
装置外导电部分	ZY9-1:20	频率表	JC7-1:35
强酸	JC3-6:4	频率质量	ZY1-1:20
强碱	JC3-6:5	频闪效应	ZY10-1:19
强电解质	JC3-6:6	鉴别	JC3-1:76
强度	JC5-1:61	鉴定	JC3-1:75
疏失误差	JC7-1:11	照明	ZY10-1:1
编码	JC8-1:73	照明设计	ZY10-30~33
十三画		照明计算	ZY10-34~38
蓄电池	JC3-1、53	照度	JC2-1.61
楞次定律	JC2-15:4	照度均匀度	ZY10-1:25
概算曲线法	ZY10-36	照度标准值	ZY10-11~21
楼宇自动化系统	ZY8-1:8	照度补偿系数	ZY10-1:26
楼层变电所	ZY5-8:7	照度定律	JC2-16:1
酯化反应	JC3-8:7	跨步电压	ZY9-1:22
感抗	JC6-1:48	跟踪	JC9-1:68
感知电流阈值	ZY9-1:4	跟踪程序	JC9-1:69
感应式功率方向继电器	ZY7-5:6	蜗杆传动	JC5-1:20
		置换反应	JC3-1:77

(续)

罩极电动机	JC11-1 : 22	滤波电路的性能	JC8-23
键联接	JC5-1 : 27	淚	JC3-5 : 22
锰锌干电池	JC3-9 : 2	溢出	JC9-1 : 98
锡	JC3-5 : 5	溶剂	JC3-1 : 21
微分	JC1-1 : 86	溶质	JC3-1 : 22
微分电路	JC8-19 : 1	溶液	JC3-1 : 23
微分公式和运算法则	JC1-22	溶解度	JC3-1 : 24
微分方程	JC1-1 : 90	裸机	JC9-1 : 6
微分方程求解方法	JC1-29	裸导线	ZY5-1 : 22
微机, 微型计算机	JC9-1 : 4	裸导线的类型及其适用范围	ZY6-2
微处理器, 微处理机	JC9-1 : 5	隔离开关	JC11-1 : 73
微观	JC2-1.8	隔离器	ZY4-1 : 8
触电	ZY9-1 : 2	疏散照明	ZY10-1 : 36
触电电流	ZY9-1 : 3	叠加原理	JC6-8 : 4
触电急救法	ZY9-5	叠绕组	JC11-1 : 43
触头材料	JC10-1 : 16		
触发	JC8-1 : 34	十四画	
触发器	JC8-1 : 79	静止	JC2-1 : 5
解析式	JC1-1 : 72	静电场	JC6-1 : 3
解码	JC8-1 : 74	静电感应	JC6-1 : 57
解调	JC12-1 : 32	静电系测量机构	JC7-7 : 6
简图	JC4-1 : 20	模块化程序设计	JC9-1 : 58
遥控变电所	ZY5-1 : 13	模拟量	JC8-1 : 82
新能源	JC12-1 : 36	模拟信号	JC8-1 : 51
普通钢	JC5-3 : 1.1.1	模拟集成电路	JC8-1 : 46
数列	JC1-1 : 2	模拟计算机	JC9-1 : 2
数-模转换器	JC8-1 : 82	模-数转换器	JC8-1 : 83
数据	JC9-1 : 74	截止	JC8-1 : 33
数据库	JC9-1 : 82	酸	JC3-1 : 28
数据结构	JC9-1 : 75	酸根	JC3-1 : 29
数制对照	JC8-27	酸值	JC3-1 : 30
数字	JC1-1 : 1	聚变	JC2-1 : 80
数字量	JC8-1 : 82	聚氯乙烯	JC3-6 : 26
数字信号	JC8-1 : 52	聚乙烯	JC3-6 : 25
数字仪表	JC7-1 : 22	聚合反应	JC3-8 : 10
数字集成电路	JC8-1 : 47	碱	JC3-1 : 31
数字计算机	JC9-1 : 3	碳	JC3-5 : 17
数字符号	JC1-2	碳酸气	JC3-6 : 37
塑性	JC2-1 : 29	碳钢, 碳素结构钢	JC5-3 : 1.1
塑料	JC3-1 : 18	碳素工具钢	JC5-3 : 1.1.3
塑料外壳式低压断路器	JC11-1 : 83	磁	JC6-1 : 4
满载, 满负荷	JC11-1 : 100	磁场	JC6-1 : 5
源程序	JC9-1 : 53	磁场强度	JC6-1 : 62
滤波电容器	JC11-1 : 66	磁动势, 磁通势	JC6-1 : 107

(续)

磁损耗	JC6-1 : 110	端子接线图	JC4-1 : 38
磁感应强度	JC6-1 : 61	遮光角	ZY10-1 : 24
磁性材料	JC10-1 : 6	熔点	JC2-1 : 46
磁电系电压表	JC7-8 : 4	熔体, 熔件	JC11-1 : 93
磁电系电流表	JC7-8 : 1	熔件的冶金效应	ZY4-1 : 7
磁电系测量机构	JC7-7 : 1	熔体材料	JC10-1 : 17
磁路	JC6-1 : 106	熔断器	JC11-1 : 91
磁路基尔霍夫第一定律	JC6-19 : 2	熔断体	JC11-1 : 92
磁路基尔霍夫第二定律	JC6-19 : 3	熔断器式刀开关, 刀熔开关	ZY4-1 : 9
磁路欧姆定律	JC6-19 : 1	精度	JC5-1 : 69
磁路计算	JC6-20	漂移运动	JC8-1 : 14
磁化	JC6-1 : 110	漏电电流保护	ZY9-22
磁化曲线	JC6-1 : 110	缩聚反应	JC3-8 : 10
磁化电流	JC6-1 : 110		
磁位差	JC6-1 : 108	十五画	
磁滞回线, 磁滞环	JC6-1 : 110	静态工作点	JC8-1 : 67
磁滞损耗	JC6-1 : 112	增广矩阵	JC1-5 : 7
磁滞损耗计算	JC6-21 : 1	增函数	JC1-1 : 57
磁介质	JC6-1 : 59	横联差动保护	ZY7-15
磁通量	JC6-1 : 60	横担	ZY5-1 : 27
磁通密度	JC6-1 : 61	橡胶	JC5-4 : 2
磁阻	JC6-1 : 109	镍	JC3-5 : 9
磁导	JC6-1 : 109	摩擦	JC2-1 : 30
磁导率	JC6-1 : 63	摩尔 (mol)	JC2-2 : 6
磁屏蔽	JC7-1 : 49	摩尔质量	JC3-1 : 63
磁力线	JC6-1 : 5	熟石灰	JC3-6 : 12
磁带	JC9-1 : 27	潮解	JC3-1 : 38
磁盘	JC9-1 : 25	潮汐电站	JC12-1 : 9
磁盘驱动器	JC9-1 : 26	额定值	JC11-1 : 97
磁吹阀式避雷器	ZY9-1 : 61	额定容量	JC11-1 : 98
锻造	JC5-1 : 46		
锻造性	JC5-2 : 2.2	十六画	
稳态	JC6-1 : 76	整数	JC1-1 : 8
稳压电路	JC8-1 : 42	整流电路	JC8-24
稳压管	JC8-1 : 29	操作机构	ZY5-1 : 37
算术平均数	JC1-1 : 20	操作电源	ZY8-1 : 1
算术级数	JC1-1 : 68	操作过电压	ZY9-1 : 52
算法	JC9-1 : 57	操作系统	JC9-1 : 47
管型避雷器	ZY9-1 : 61	噪声	JC8-1 : 56
管理工作制度	JC13-1 : 39	镭	JC3-5 : 1
管理标准	JC13-1 : 34	镉镍蓄电池	JC3-9 : 4
管理幅度	JC13-1 : 41	磨床	JC5-6 : 6
管理信息系统	JC13-1 : 70	燃烧	JC3-1 : 43
管理层次	JC13-1 : 42	燃煤式火电厂	JC12-4 : 1.1

(续)

TT 系统	JC12-11 : 1.4		
Y 形联结	JC6-1 : 85	Σ	JC1-2 : 1.11
Z 形联结	JC11-13 : 7	\in	JC1-2 : 6.25
希腊字母及其它		\ni	JC1-2 : 9.3
		∞	JC1-2 : 6.14
Δ 形联结	JC6-1 : 86	I 类电气设备	ZY9-1 : 43
π	JC1-1 : 47	II 类电气设备	ZY9-22 : 2